



**Universidad Nacional de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente**

**ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE NUTRIENTES (FÓSFORO Y NITRÓGENO)
PROCEDENTES DE LA CUENCA DE DRENAJE SUPERFICIAL
DEL RIO TEPENAGUASAPA**

**Tesis Sometida a la Consideración del Centro de Investigación y Estudios en Medio
Ambiente para Optar al Título de Maestro en Ciencias Ambientales**

Tesistas:

MSc Bismarck Antonio Morales Arróliga

MSc. Gabriela Alejandra Chávez Linarte

Tutor:

MSc. Mauricio Lacayo Escobar

Managua, Nicaragua, Octubre de 2009.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a mi familia y amigos, pues con su apoyo han contribuido para lograr alcanzar la meta.

Bismarck Antonio Morales Arróliga

Dedico este trabajo de investigación que me llevara a la culminación de un paso mas a mi desarrollo profesional a Dios mi padre, que siempre ha estado detrás y delante mi en cada uno de mis pasos, así como a mi madre materna Odilia Linarte, a mi madre de crianza Maura Medina y a mis amigos y amigas en especial a Nancy Vanegas, que todos con su amor, apoyo, sacrificios, paciencia y dedicación, han contribuido a que yo pueda recibir mi titulo de maestría en ciencias ambientales en esta época.

Gabriela Alejandra Chávez Linarte

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todas aquellas personas e instituciones que de alguna u otra manera han contribuido a llevar hasta el final este trabajo, a todos les damos las gracias.

Con especial reconocimiento a:

- Flavia Valle quien con su apoyo en la elaboración de los diversos mapas empleados y áreas en la cuenca, hizo posible que se obtuvieran datos importantes para realizar las estimaciones
- Alejandro Ponce, Milton Medina y José Martín Espinoza, por su apoyo para caracterizar las formaciones geológicas que se encuentran dentro de la cuenca en estudio y ajustarlas dentro de lo dispuesto en la metodología aplicada.

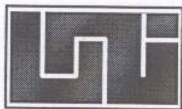
Alonso González, Ufredo Arguello Arana y Carlos Domingo Fletes McCrea, que durante la visita a la cuenca eran los alcaldes de los municipios de Morrito, El Almendro y San Miguelito respectivamente; Así como al personal de estas alcaldías al brindarnos apoyo con información, atención y disponibilidad para llevar a cabo la investigación.

Al tutor para el desarrollo de tema, Mauricio Lacayo, que nos brindó aportes, comentarios y sugerencias para mejorar nuestra labor y llevarnos a la etapa deseada de forma excelente.

Bayardo Berríos, por apoyarnos en el transporte durante la visita de campo a la cuenca en estudio, así como en la búsqueda de información y el muestreo de las aguas del río en sus distintos sectores.

El apoyo brindado por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), por medio de su directora Gherda Barreto para la realización de los cálculos para el área y mapas de la cuenca que fueron necesarios, así como el apoyo del Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA), por medio de su director Sergio Gamez, al darnos apoyo para llegar al final de este tema que forma parte de la información generada dentro del proyecto Twin Latin.

CARTA DE APROBACION



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente
(CIEMA - UNI)



Managua, 10 de Septiembre de 2008

Lic. Bismarck Morales Arróliga ✓

Egresada Maestría en Ciencias Ambientales

Lic. Gabriela Chávez Linarte

Egresada Maestría en Ciencias Ambientales

Estimado Lic. Morales y estimada Lic. Chávez:

Por medio de la presente tengo a bien informarles que en acta No.10-2008 del Consejo Académico del CIEMA del día lunes 08 de septiembre del año en curso, se aprobó el protocolo de Investigación con el tema: *"Estimación de la carga de nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) procedente de la cuenca de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa"*.

En base a la misma acta 10-2008 se acordó cumplir con las normativas del Reglamento de Culminación de Estudios de las Maestrías para la elaboración y defensa de tesis. Así mismo se confirmó como Tutor al MSc. Mauricio Lacayo E

Sin más que agregar y deseándoles éxitos en la realización del trabajo para optar al título de Maestría, me suscribo

Atentamente:

MSc Lúa Toruño Vallecillo
Coordinadora de Maestría en
Ciencias Ambientales
CIEMA - UNI



cc/ MSc Sergio Gámez G
MSc Sagrario Espinal M

Director CIEMA
Secretaría Académica CIEMA

RESUMEN

El Lago Cocibolca merece atención especial. Se trata de una gran cuenca colectora de las aguas de lluvia y de los aportes de las cuencas circundantes. Este lago una fuente de agua para consumo humano de importancia para Nicaragua. Una de sus subcuencas es la del Río Tepenaguasapa que tiene entre otros problemas, el de contaminación. Una forma de tomar acción para combatir esta situación es determinando la carga nutrientes (fósforo y nitrógeno) procedentes de su cuenca de drenaje superficial, a través del método “Cálculo de la carga de nutrientes en lagos” y su estado trófico para después hacer propuestas de solución. Esto consiste en el cálculo y suma del aporte de Fosforo y Nitrógeno provenientes de la precipitación, uso de suelo y fuentes artificiales y posteriormente por medio de mediciones de la concentración de los nutrientes en muestras de agua del Río Tepenaguasapa y con ayuda del nomograma de distribución probabilística, conocer el estado trófico del Río. La Carga de Fósforo estimada fue de 24.33 Toneladas y de Nitrógeno fue de 632.57, lo que sumado totaliza 656.89 Toneladas La principal fuente de nutrientes está representada por el uso de suelo, seguido por precipitación y por último la carga artificial. El Río se encuentra en estado eutrófico con mayor probabilidad en su parte alta, al igual que su parte media y baja, sin embargo la tendencia a medida que se recorre el Río aguas abajo es el estado hipertrófico. La carga de nutrientes y el subsecuente estado trófico del cuerpo de agua es originado por la gran cantidad de área empleada para pasto con su actividad ganadera extensiva vinculada, tierras de labranza, monocultivo, el manejo que se da a las aguas residuales, tala de árboles, además por que se trata de una cuenca con abundante precipitación y de gran tamaño en comparación con el espejo de agua.

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	JUSTIFICACIÓN.....	4
III	OBJETIVOS.....	6
IV	MARCO TEÓRICO.....	7
4.1	Generalidades sobre la Cuenca.....	7
4.2	Problemas Relevantes Encontrados en la Cuenca del Rio Tepenaguasapa.....	8
4.3	Corredor de Interconexión.....	11
4.4	Regiones Ecológicas.....	12
4.5	Formaciones vegetales.....	14
4.6	Características Generales de los Municipios Ubicados en la Cuenca.....	14
4.6.1	Ubicación Geográfica.....	14
4.6.2	Población.....	17
4.6.3	Educación.....	17
4.6.4	Salud.....	18
4.6.5	Transporte y Red Vial.....	18
4.6.6	Agua y Saneamiento.....	21
4.6.7	Telecomunicaciones y Correos.....	23
4.6.8	Agricultura Ganadería y Empresas.....	24
4.7	Procesos de Eutrofización.....	27
4.8	Nutrientes Participantes en el Proceso de Eutrofización.....	29
4.9	Importancia de los Modelos a ser Utilizados y sus Ventajas y Desventajas.....	33
V	HIPÓTESIS.....	36
VI	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
6.1	Tipo de Estudio.....	37
6.2	Universo y Muestra.....	37
6.3	Variables de Estudio.....	38
6.3.1	Precipitación.....	38
6.3.2	Uso Actual del Suelo.....	38

6.3.3	Geología.....	38
6.3.4	Población.....	38
6.3.5	Concentración de N y P.....	38
6.4	Metodología empleada en el Cálculo de la Carga de Nitrógeno y Fósforo que es Vertida hacia el Río Tepenaguasapa.....	38
6.4.1	Estimación de Fósforo y Nitrógeno por la Precipitación.....	39
6.4.2	Estimación del Ecurrimiento de Fósforo y Nitrógeno a través del Uso del Suelo en la Cuenca de Estudio.....	41
6.4.3	Cargas Artificiales de Fósforo y Nitrógeno.....	43
6.4.3.1	Población de la Cuenca del Río Tepenaguasapa.....	43
6.4.3.2	Cálculo de Fósforo y Nitrógeno de Origen Artificial.....	44
6.4.4	Carga Total de Fósforo y Nitrógeno (Nutrientes) Ecurrida hacia el Río Tepenaguasapa.....	45
6.4.5	Estimación del Estado Trófico del Ecosistema.....	47
6.4.6	Procesamiento de la Información.....	49
VII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
7.1	Carga de Nutrientes Provenientes de la Precipitación.....	50
7.2	Carga de Nutrientes Provenientes del Suelo	53
7.3	Carga de Nutrientes Provenientes de Fuentes Artificiales.....	58
7.4	Carga Total de Fósforo y Nitrógeno (Carga total de Nutrientes) Ecurrida Hacia el Río Tepenaguasapa	61
7.5	Estimación del Estado Trófico del Ecosistema	65
VIII	CONCLUSIONES.....	74
IX	RECOMENDACIONES.....	76
X	BIBLIOGRAFÍA.....	77

XI ANEXOS

Anexo 1: Mapas de la Cuenca

Mapa de Precipitación Media Anual de la Subcuenca del Río Tepenaguasapa	1
Mapa del Uso Actual del Suelo en la Subcuenca del Río Tepenaguasapa.....	2
Mapa de las Formaciones Geológicas Presentes en la Subcuenca del Río Tepenaguasapa.....	3
Mapa de las Formaciones Forestales de la Subcuenca del Río Tepenaguasapa	6
Mapa de los Puntos de Calor a Nivel Nacional para el Año 2006.....	7
Anexo 2: Resultados de Laboratorio de las Muestras de Agua del Río Tepenaguasapa.....	1
Anexo 3: Resumen de los Cálculos Realizados	
Cálculo de Carga de Nutrientes Provenientes de la Precipitación.....	1
Cálculo de Carga de Nutrientes Provenientes del Suelo.....	2
Cálculo de Carga de Nutrientes Provenientes de Fuentes Artificiales.....	10
Estimación del Estado Trófico del Ecosistema.....	12
Anexo 4: Fotografías de la Cuenca del Río Tepenaguasapa.	
Fotografías Satelitales de los Puntos de Muestreo.....	1
Fotografías Tomadas Durante la Visita de Campo al Área de la Cuenca.....	3

ÍNDICE DE CUADROS

No	Contenido	Pág.
1	Metales Pesados en los Sedimentos Suspendidos del Río Tepenaguasapa.....	8

2	Caracterización de los Phylum de Fitoplancton Predominantes en el Río Tepenaguasapa.....	10
3	Estimación de la Entrada y Salida de Nitrógeno y Fósforo de los Principales Tributarios del Lago Cocibolca (Ago – Nov, Ener – Mar, 2003).....	11
4	Población de los Municipios de la Cuenca en 2005.....	17
5	Proyecciones de la Población Total por Municipios Período 2010 – 2015.....	17
6	Indicadores de Educación por Municipio (2005).....	17
7	Tasa de Escolaridad de los Municipios de El Almendro, Morrito y San Miguelito.....	18
8	Cobertura de Salud.....	18
9	Red Vial de los Municipios de Morrito, El Almendro y San Miguelito 2006.....	20
10	Síntesis de la Infraestructura.....	20
11	Transporte Acuático 2006.....	21
12	Capacidad de los Pozos en Áreas Urbanas Morrito, El Almendro y San Miguelito.....	22
13	Sistema de Agua Potable 2006.....	22
14	Demanda Telefónica.....	24
15	Principales Cultivos Ciclos agrícolas (Manzanas).....	25
16	Producción Pecuaria 2001 – 2005.....	25
17	Producción Ganadera 2006.....	26
18	Número de reses sacrificadas.....	26
19	Ganado Menor 2001.....	26
20	Producción Pesquera 2005.....	26
21	Distribución Municipal de la Inversión Pública 2004 – 2005.....	27
22	Valor Medio de Concentraciones de Fósforo y Nitrógeno.....	40
23	Esquema de exportación de fósforo E_P y nitrógeno, E_N dadas en $mg \cdot a^{-1}$	42
24	Medias de las Descargas Per- Capita Anuales de Fósforo y Nitrógeno.....	44
25	Carga Total de Fósforo y Nitrógeno Proveniente del Drenaje Superficial de la Cuenca del Río Tepenaguasapa.....	46
26	Carga de Nutrientes Estimada por Precipitación.....	50
27	Área de la Cuenca y Aporte de Nutrientes Según el Uso de Suelo Establecido en el Método.....	53

28	Carga de Nutrientes Estimada por Uso de Suelo.....	54
29	Carga de Nutrientes Estimada por Fuente Artificial.....	58
30	Carga Total de Fósforo y Nitrógeno Proveniente del Drenaje Superficial de la Cuenca del Río Tepenaguasapa.....	61
31	Muestreo de Fósforo y Nitrógeno Obtenido de la Bibliografía.....	65
32	Estado Trófico Reportado en los Puntos de Muestreo de la Bibliografía, Según los Mínimos y Máximos.....	66
33	Información de los puntos de muestreo.....	67
34	Resultados de Muestras Extraídas en la Visita al Río.....	68
35	Estado Trófico Reportado en las Muestras Tomadas en la Visita.....	70

Anexo 1

36	Claves del Mapa Geológico.....	4
----	--------------------------------	---

Anexo 3

37	Calculo del Área del Rio Tepenaguasapa.....	1
38	Cálculo Carga de Fósforo y Nitrógeno por Precipitación.....	1
39	Detalle del Área (Ha) de Uso de la Cuenca Según el Método y Coloración.....	2
40	Detalle del Uso de Suelo Encontrado en la Cuenca.....	2
41	Adecuación de las Formaciones Geológicas para el Método.....	3
42	Detalle de la Superposición del Uso de Suelo y Geología por Municipio.....	3
43	Detalle del Uso de Suelo Según Formación Sedimentaria o Ígnea.....	8
44	Cálculo de Carga de Fósforo y Nitrógeno por Escurrimiento del Suelo.....	9
45	Cálculo de la Razón de Crecimiento R.....	10
46	Cálculo del Área de la Cuenca del Río Tepenaguasapa.....	10
47	Calculo de Población Estimada Habitante de la Cuenca del Rio Tepenaguasapa por Municipio (Pd) para Finales de 2008.....	11
48	Cálculo de la Carga Artificial de Fósforo Nitrógeno.....	11
49	Muestreo de Fósforo y Nitrógeno Obtenido de la Bibliografía Expresado en M ³ ..	12

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y MAPAS

No	Nombre Contenido Principal	Pág.
1	Nomograma de Referencia al Estado Trófico Según la Concentración Halladas en el Cuerpo de Agua.....	48
2	Carga de Nutrientes por Precipitación.....	50
3	Porcentaje de Fósforo y Nitrógeno por Precipitación.....	51
4	Relación Porcentual Formación Ígnea y Sedimentaria.....	53
5	Carga de Nutrientes por Uso de Suelo.....	54
6	Porcentaje de Fósforo y Nitrógeno por Uso de Suelo.....	55
7	Carga Artificial de Nutrientes.....	58
8	Porcentaje de Fósforo y Nitrógeno de Origen Artificial.....	59
9	Carga Total de Nutrientes.....	61
10	Porcentaje del Total de Fósforo y Nitrógeno.....	62
11	Relación Porcentual Entre las Fuentes de Emisión de Nutrientes.....	62
12	Distribución de Probabilidad del Estado Trófico Fuente Bibliográfica.....	66
13	Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Alta Río Tepenaguasapa.....	69
14	Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Media Río Tepenaguasapa...	69
15	Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Alta Río Tepenaguasapa.....	70
Anexo 1		
16	Mapa de Precipitación Media Anual de la Subcuenca del Río Tepenaguasapa...	1
17	Mapa del Uso Actual del Suelo en la Subcuenca del Río Tepenaguasapa.....	2
18	Mapa de las Formaciones Geológicas Presentes en la Subcuenca del Río Tepenaguasapa.....	3
19	Mapa de las Formaciones Forestales de la Subcuenca del Río Tepenaguasapa....	6
20	Mapa de los Puntos de Calor a Nivel Nacional para el Año 2006.....	7

I. INTRODUCCIÓN

El Fósforo y Nitrógeno son considerados los principales nutrientes en el desarrollo de los ecosistemas acuáticos.

Para el caso del Fósforo, en la mayoría de los ecosistemas acuáticos, este es el principal factor limitante de su productividad. Así como el primer responsable por el problema de la eutrofización artificial de este sistema.

Para el Nitrógeno que también es un nutriente importante, interviene en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos ya que por ejemplo participa en la formación de proteínas, uno de los componentes básicos de la biomasa. Este igual que el fósforo puede actuar como factor importante para productividad de los ecosistemas acuáticos y la eutrofización.

La fuente natural de Fósforo son las rocas de la cuenca de drenaje que constituye la fuente básica del fosfato. En cambio, las fuentes antrópicas principales son aguas residuales domésticas e industriales, aguas sobrantes de riego en la agricultura que ha sido enriquecida con Abono (Fósforo y Nitrógeno) y aguas de escorrentía después de talas, incendios o del uso de herbicidas, operaciones que movilizan una elevada proporción de nutrientes contenidos en el suelo, etc. En cambio, las fuentes naturales de Nitrógeno son la precipitación en forma de lluvia, material orgánico e inorgánico de origen alóctono; y la fijación molecular dentro del propio cuerpo de agua.

Este problema de eutrofización en los ecosistemas acuáticos, provocado por el enriquecimiento del ecosistema con los nutrientes Fósforo y Nitrógeno de forma natural o artificial, resultan en un aumento de las poblaciones de plantas (macrófitas y fitoplancton), sin embargo, este proceso por la influencia del hombre puede ser acelerado, lo cual es conocido como eutrofización cultural.

Para enfrentar el problema de eutrofización en los ecosistemas acuáticos y la carga de los nutrientes provenientes de la cuenca de drenaje de estos cuerpos de agua, en los últimos años se ha hecho esfuerzos considerables para desarrollar análisis empíricos y teóricos de eutrofización de lagos que pudieran ser fácilmente aplicables, teniéndose como resultado el desarrollo del método de Carga de Nutrientes en Lagos y el Modelo Simplificado para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales.

Estos modelos son simples y confiables y tienen su aplicabilidad cuando no se cuenta con mayor cantidad de información de la cuenca de interés y recursos económicos, como es el caso de Nicaragua. Sin embargo, se debe tener claro que el modelo que se desarrolla entre más se aproxima a la realidad por la cantidad de factores que se tomen en cuenta, así se espera una mejor caracterización de lo que está ocurriendo en la cuenca.

Estos métodos por lo tanto, son de importancia para el manejo de las cuencas hidrográficas, una de las cuales es la del Río Tepenaguasapa, la que se ha estudiado aplicándolos. Esto es importante para obtener información que conlleve al buen manejo de la cuenca del Lago Cocibolca, puesto que la cuenca del Río Tepenaguasapa es una subcuenca de este. Con la información se aportará dando a conocer el escurrimiento de Fósforo y Nitrógeno que ingresa al Río Tepenaguasapa y su relación con las actividades antrópicas, así como propuestas de solución a los problemas presentados, por medio de acciones y medidas para la mejora de la calidad del agua, su protección y de las condiciones ambientales y de los habitantes la cuenca tanto del río como del lago, para así conservar la fuente de agua de mayor importancia en el futuro inmediato de Nicaragua y su población.

La cuenca del río Tepenaguasapa pertenece a las llamadas subcuencas de los ríos de la vertiente Este del Lago Cocibolca. Estos ríos se caracterizan por pasar gradualmente de un régimen intermitente a perenne, a medida que se aproximan al sector Sureste del Lago, debido al incremento de la precipitación. La cobertura vegetal de esta sub cuenca ha estado cambiando aceleradamente durante los últimos años debido al fuerte proceso de deforestación como consecuencia del avance de la frontera agrícola.

Actualmente en Nicaragua, hay diversas instituciones públicas y privadas, así como algunos autores, que han estudiado este tema, encontrándose trabajos de medición de su cantidad anual, lo que es depositado en diversos lagos, como Tiscapa, Asososca, Masaya, Nejapa y Apoyo. Aunque en la legislación ambiental vigente no se contempla al Fósforo y al Nitrógeno como parámetros a medir dentro de las aguas residuales, a pesar de la importancia que estas variables tienen para los ecosistemas acuáticos.

Durante la revisión bibliográfica de rigor en el proceso investigativo, solo se pudo identificar un documento, que básicamente solo ofrece el dato del escurrimiento de Fósforo y Nitrógeno en tres cuerpos de agua, uno de los cuales es el Río Tepenaguasapa, sin profundizar en cuanto al vínculo con las diversas actividades humanas presentes, las cuales han conllevado que exista dificultades en cuanto a la calidad de sus aguas, la degradación de los suelos y el arrastre de sedimentos, así como la sobre explotación de los animales y bosque junto con las actividades de agricultura, monocultivo y ganadería extensiva.

II. JUSTIFICACIÓN

El Lago Cocibolca es el más grande de Nicaragua y de América Central, con un área en su espejo de agua de unos 8,000 Km² y una cuenca de 23,848 Km², es considerado una fuente de agua de buena calidad para futuro de la nación.

El Lago Cocibolca merece atención especial. Se trata de una gran cuenca colectora de las aguas de lluvia y de los aportes de las cuencas circundantes, con un solo punto de salida en San Carlos, donde nace el Río San Juan.

Por ello, entre otras cosas, se hace necesario realizar un balance del lago en relación a las entradas y salidas de nutrientes, para desarrollar una metodología que permita predecir su comportamiento, así como los aspectos relativos al proceso de contaminación del agua del lago, su capacidad de renovación anual y las medidas de control que habría de tomar para evitar el deterioro de la calidad del agua.

La cuenca del Lago Cocibolca está representada por varias sub-cuencas y estas a su vez por varias micro cuencas. Una forma de evitar el deterioro de la calidad del agua del Lago Cocibolca y predecir su comportamiento, es conociendo los aportes de Fósforo y Nitrógeno que son escurridos en estas sub-cuencas y micro-cuencas; y el vínculo que tienen con las actividades humanas.

Los tributarios del Lago Cocibolca se distribuyen en una cuenca de más de 23,000 Km². El Río Tepenaguasapa es una de estas Sub-Cuencas, la cual se ubica en el sector Este de la cuenca del Lago Cocibolca. Esta subcuenca al igual que el resto, alimentan al Lago Cocibolca para el mantenimiento de su caudal, pero además aportan nutrientes para mantener el ecosistema presente en este cuerpo de agua y sirven de interconexión de los ecosistemas y las comunidades humanas.

La problemática que presenta la cuenca del Río Tepenaguasapa se puede resumir en acelerada degradación del ecosistema; sobreexplotación de valiosos recursos naturales; degradación de los suelos y creciente sedimentación; contaminación de cuerpos de agua; y alta vulnerabilidad a los peligros naturales, entre otros.

A esto se deben sumar las actividades económicas principales en el sector de la cuenca, las cuales son la ganadería extensiva, agricultura de subsistencia, agricultura de monocultivo y se debe agregar el escaso manejo de excretas y aguas residuales. Todo ello contribuye a la degradación de las condiciones ambientales en la cuenca.

Las principales causas raíces de estos problemas ambientales desde el punto de vista político, se resumen en: inadecuada planificación; debilidad institucional; insuficiente capacidad humana e institucional; escasa participación de los actores involucrados y extrema pobreza en lo social.

Como consecuencia, al final del desarrollo de esta investigación, se aportará con información dando a conocer el escurrimiento de Fósforo y Nitrógeno que ingresa al Río Tepenaguasapa y su relación con las actividades antrópicas, así como propuestas de solución a los problemas presentados, por medio de acciones y medidas para la mejora de la calidad del agua, su protección y de las condiciones ambientales y de los habitantes la cuenca tanto del río como del lago, para así conservar la fuente de agua de mayor importancia en el futuro inmediato de Nicaragua y su población.

III OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

“Determinar la carga de nutrientes (fósforo y nitrógeno) procedente de la cuenca de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa, a través del método “Cálculo de la carga de nutrientes en lagos” y su estado trófico” durante el período Julio a Noviembre de 2008”.

4.2 Objetivos Específicos

1. Describir el comportamiento de la precipitación, el uso del suelo, la geología y población de la cuenca en estudio en relación con los aportes de nutrientes.
2. Aplicar las ecuaciones establecidas en el modelo “Calculo de la carga de nutrientes en Lagos”, para las cargas naturales y artificiales de fósforo y nitrógeno total vertidas hacia el Río Tepenaguasapa.
3. Determinar las concentraciones del fósforo en el Río Tepenaguasapa para la identificación de su condición trófica.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Generalidades sobre la Cuenca

El río Tepenaguasapa, cuyo nombre significa **“Río de Piedras al Pie de un Cerro”**, se encuentra localizado en el sector Norte del Departamento de Río San Juan, a lo largo de los municipios de El Almendro, Morrito y San Miguelito. Este río nace en el municipio de El Almendro y desemboca en el lago Cocibolca después de un recorrido aproximado de 62 Km¹.

Entre los lluviosos bosques del municipio El Almendro, nace el caudaloso río Tepenaguasapa, con un curso de 62 Km de longitud y 1,220 km² de cuenca, con una elevación de 145 msnm y sigue un curso selvático hasta entrar en los llanos de San Miguelito, desemboca en una especie de península pantanosa en el Lago de Nicaragua, entre los municipios de Morrito y San Miguelito. Sus principales afluentes son: Palos Ralos, Paso Hondo, El Jícaro, Kiway, Caño Blanco, El Garabato, Caño Negro, Zapotal y Corocito. Las selvas de las cuencas de estos ríos dan paso a la explotación agrícola y maderera de la zona, este recurso natural representa condiciones favorables para ejecutar proyectos para la generación de energía hídrica.

De igual forma, el río sirve de límite a los municipios de Morrito y San Miguelito en la confluencia de los ríos El Jícaro y Tepenaguasapa; continúa aguas abajo de este último hasta su desembocadura en el Lago Cocibolca.

De acuerdo a su red hidrográfica, la cuenca del río Tepenaguasapa ha sido dividida en siete micro cuencas: El Jícaro, Corosito, Cerro Grande, Estero Palos Ralos, Kiway, El Zapotal y Toledo.

El municipio de El Almendro esta atravesado por una gran red hídrica de caños y quebradas que alimentan y depositan sus agua en el río Tepenaguasapa, entre los caños de mayor relevancia debido a su longitud, se encuentra caño Las Lajas, Caño Blanco, Caño La Ceiba, El Zapotal, El Kiway.

¹ De acuerdo a la revisión realizada por el SINIA, el Río Tepenaguasapa tiene un largo de 102.15 Km

² De acuerdo a la revisión realizada por el SINIA, la Cuenca del Río Tepenaguasapa tiene un área de 1,334.35 Km²

4.2 Problemas Relevantes Encontrados en la Cuenca del Río Tepenaguasapa

Los indicadores bacteriológicos señalan que entre los principales tributarios ribereños que manifiestan contaminación de origen fecal en el propio lago se encuentra el Río Tepenaguasapa. De igual manera el Río Tepenaguasapa es considerado como el mayor contribuyente de nitrógeno, así como de fósforo.

Sobre los metales pesados, es el segundo en importancia en la cuenca del Lago Cocibolca. El hierro y el manganeso son los metales que se presentan en mayor concentración.

En los ríos Malacatoya, Tepenaguasapa, Papaturro y Ochomogo (Cuadro 1) están presentes los mayores contenidos de metales durante la estación lluviosa. Al relacionar todas las estaciones de muestreo en la época de lluvias, se observó que los ríos Papaturro, Tepenaguasapa seguido del Oyate y el Mayales son los que presentan mayores contribuciones de contaminantes inorgánicos al Lago de Nicaragua.

Cuadro 1: Metales Pesados en los Sedimentos Suspendidos del Río Tepenaguasapa (Noviembre, 2002 - Julio, 2003)										
Metal	As mg/Kg	Cd mg/Kg	Zn mg/Kg	Cu mg/Kg	Cr mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Ni mg/Kg	Pb mg/Kg	Se mg/Kg
[]	1.3 ± 0.2	2 ± 1	78 ± 32	47 ± 4	9.9 ± 0.4	15,301 ± 5,200	2,169 ± 590	11 ± 2	3 ± 4	3

Fuente Bibliográfica: PROCUENCA San Juan, MARENA

Las actividades agropecuarias con sus implicaciones de erosión del suelo, constituyen una amenaza por los efectos de la sedimentación en los ríos, por lo que se requiere de intervenciones bajo enfoque de manejo de cuenca hidrográficas para la recuperación y manejo de los ecosistemas acuáticos, sobre todo en los ambientes ribereños que actúan como conectores de corredores, siendo uno de estos ríos el Tepenaguasapa.

Existencia de vegetación a la orilla de los ríos permite un flujo permanente y constante de especies que favorece la conectividad biológica; por tal razón, la vegetación ribereña o bosque de galería, ofrece la oportunidad de establecer y conectar corredores ribereños (Río Tepenaguasapa).

En la zona de Morrito (San Bartolo, Quimichapa, Mayasang y lugares aledaños del Río Tepenaguasapa en los últimos años se han visto sometidos a fuertes sequías que se han tornado cíclicas. En las inmediaciones de los ríos Tepenaguasapa y Tule, se presentan problemas de inundación cuando existen lluvias intensas.

Las dos repercusiones antropogénicas más importantes sobre los bosques de la Cuenca del Río San Juan son: a) destrucción del hábitat por la extracción forestal con fines comerciales y el avance de la frontera agrícola y ganadera; b) la contaminación y sedimentación de los cuerpos de agua como consecuencia de la deforestación, la agricultura, la ganadería y la inadecuada disposición de desechos sólidos y líquidos provenientes de los asentamientos humanos y de la actividad industrial.

En el municipio de El Almendro se han recibido poblaciones desplazadas, desde Boaco, Chontales, León, Chinandega y otros lugares del País, que han llegado en búsqueda de tierras y mejores condiciones de vida. En los últimos tiempos las principales actividades económicas han sido, la ganadería extensiva y la agricultura. En los años 60 tomó auge la ganadería al extremo que es la actividad que predomina.

Dentro del municipio de Morrito la actividad agropecuaria es la más relevante desde el punto de vista productivo, aquí se destacan dos finca por su extensión territorial, una se encuentra en la comarca Palos Ralos cuya infraestructura para cultivo de arroz bajo riego es de 4,235 Manzanas y la otra en la comarca Jesús María con 12,000 Manzanas dedicada al ganado bovino.

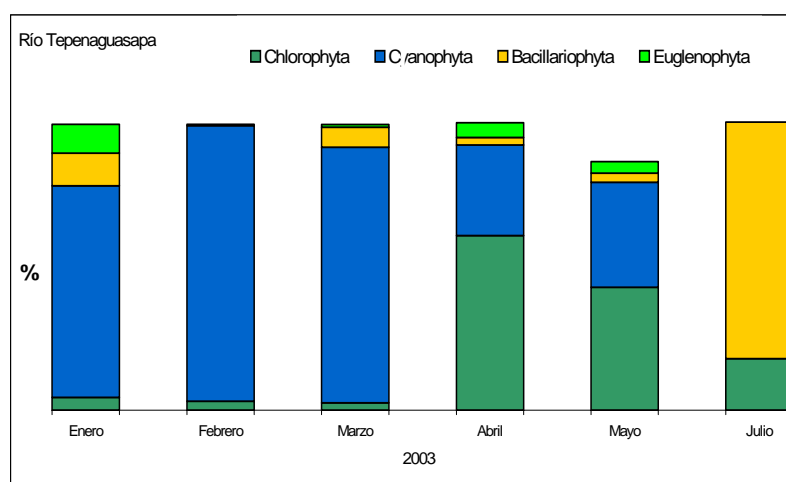
Para el caso del municipio de San Miguelito, se destaca por ser uno de los grandes ganaderos del departamento de Río San Juan. Según el Ministerio de Acción Social (MAS) el municipio cuenta con un total de 11,000 cabezas de ganado, que tienen un promedio de cuatro litros de leche por cabeza, que son utilizados para el autoconsumo de la población.

Los sedimentos se originan en las partes altas y medias de las subcuencas y son producto de las fuertes lluvias, la fragilidad de muchos de los suelos volcánicos, la deforestación y el desarrollo agrícola – ganadero de la zona.

De acuerdo al trabajo investigativo realizado por Silvia Helena Hernández González, la Familia Tubificidae dominó en el río Tepenaguasapa en el mes de enero del año 2001. Esta Familia es reportada en aguas severamente contaminadas, además los valores del Índice de Diversidad de Shannon y Weaver (metodología empleada en el estudio de Silvia Hernández), señalaron que las aguas de los ríos estudiados (Mayales, Acoyapa, Oyate, y Tepenaguasapa) están ligeramente contaminadas.

Dentro del mismo trabajo investigativo se obtuvieron resultados sobre el tipo de fitoplancton que prevalece en el Río Tepenaguasapa (Cuadro 2), en el que se destacan las cianophytas³ en la mayor parte del tiempo, seguido por las euglenophytas. Esto es indicativo de aguas con un alto grado de contaminación en el río estudiado.

Cuadro 2: Caracterización del Fitoplancton Predominantes en el Río Tepenaguasapa



Hernández González, Silvia Helena, 2001

³ Fogg (1973) sugiere que la abundancia de Cianophytas puede ser debido al efecto de altas cantidades de materia orgánica en el agua, también es sabido que son abundantes cuando aumenta la eutrofización.

Otro problema que afronta la cuenca del Río Tepenaguasapa son los incendios forestales (Mapa 5, Anexo 1), pues estos pueden aportar nutrientes a la cuenca.

Se han desarrollado diferentes programas y proyectos para ejecutar acciones para prevenir, mitigar y atender programas para el control de las prácticas de incendios en el sector agropecuario, forestal y ambiental, principalmente en la organización de brigadas, campañas y divulgación para prevenir y atender los incendios. Según los datos de registro por imágenes de satélites, instrumento que utiliza la frecuencia de los puntos de calor, la frecuencia de incendios disminuyó entre 2003-2006, principalmente en los meses de abril y marzo que es períodos de mayores incendios.

Las estimaciones de fósforo y nitrógeno total basadas en el modelo cálculo de carga (Cuadro 3) sugieren que las subcuencas de los ríos que reflejaron los mayores aportes fueron el Mayales, Zapote y Otros y Tipitapa con relación al uso actual y a la geología del suelo.

Cuadro 3: Estimación de la Entrada y Salida de Nitrógeno y Fósforo de los Principales Tributarios del Lago Cocibolca (Ago – Nov, Ene – Mar, 2003)		
Carga Instantánea	Nitrógeno Total (Ton/Año)	Fósforo Total (Ton/Año)
Mayores Tributarios	Tepenaguasapa Mayales Oyate	Tepenaguasapa Oyate Acoyapa
Entrada	4,984	907
Salida	8929	585

Fuente: PROCUENCA San Juan, Integración de Estudios Básicos

4.3 Corredor de Interconexión

Dentro de los Corredores de interconexión, se ubica el Corredor San Miguelito-Punta Gorda, que comprende un corredor longitudinal orientado de este a oeste, a través de las cuencas de los ríos Tepenaguasapa, Camastro y Punta Gorda, que establecen conexión terrestre entre la zona de San Miguelito y la reserva natural Punta Gorda. Este corredor biológico interconecta áreas naturales protegidas con remanentes de bosques existentes.

Es importante resaltar que a través de esta conexión, se establece prioridad de atención a zonas intervenidas por actividades humanas orientadas hacia la ganadería y agricultura de subsistencia, siendo la zona donde se presenta el frente de avance de la frontera agrícola.

En el área se han hecho intensas operaciones de aprovechamiento forestal, que han incidido en una creciente fragmentación de los bosques y consecuentemente en la degradación de hábitat de importancia biológica de especies en peligro de extinción: tales como lapa (*Ara ambigua*) y *Ara macao*), dantos (*Tapirus bairdii*), tigre (*Pantera onca*), etc. Así como también de especies florísticas como caoba (*Swetenia macrophylla*), cedro real (*Cedrela odorata*), entre otras.

Las condiciones agroecológicas existentes en el corredor y la afluencia de comunidades rurales, facilitan la restauración ecológica a través de la promoción de sistemas de producción sostenibles, enfatizando fundamentalmente en la instauración de sistemas agroforestales (cultivos en callejones, cultivos de cobertura, cortinas rompe vientos, cercos vivos, etc.) sistemas silvopastoriles (árboles de sombra, árboles de usos múltiples, bancos de proteína, etc.) y de agricultura orgánica (cacao, quequisque, canela, etc.).

Prácticamente, la agricultura orgánica constituye una alternativa de producción amigable con el medio ambiente. Esta modalidad productiva puede ser desarrollada por pequeños y medianos productores en las zonas críticas en el Río Tepenaguasapa.

4.4 Regiones Ecológicas

La superficie total de la subcuenca Tepenaguasapa es de 121,520 has⁴, abarcando tres diferentes zonas de vida de acuerdo a la clasificación de Holdridge: bosque húmedo subtropical 21,156ha (14,40%), bosque seco tropical: 68,769ha. (56,59%) y bosque muy húmedo subtropical: 31,595ha (29,01%).

De acuerdo con Salas la cuenca de este Río se encuentra dentro de dos regiones ecológicas:

⁴ De acuerdo a la revisión realizada por el SINIA, la Cuenca del Río Tepenaguasapa tiene un área de 1,334.15 Km² ó 133,435.36 Hectáreas.

- Región Ecológica III (central Sur). El área es de 59, 579ha (49,02%).
- Región ecológica IV (sureste del Caribe). 61 941ha (50,98%).

La región ecológica III está caracterizada por bosques medianos o altos subperennifolios de zonas moderadamente cálidas y húmedas, con alturas comprendidas entre los 40 a 500 msnm, con temperatura promedio anual entre 24 y 27⁰ C y precipitación promedio anual entre 2,000 a 2750 mm, con un periodo de lluvia de Mayo a Diciembre. La vegetación de este sector es de tipo tropical húmedo, de bosques altos de zonas cálidas y húmedas de pluvioselva.

La región ecológica IV tiene bosques altos perennifolios de zonas muy frescas y húmedas, con alturas comprendidas entre los 30 a 200 msnm, con temperatura promedio de 23 a 24⁰ C y precipitación promedio anual entre 2,750 y 3,000 mm, con un periodo de lluvia entre Mayo a Diciembre. La vegetación característica del sitio es de floresta tropical húmeda, con bosques altos de zonas cálidas y húmedas.

Finalmente, es importante tomar en cuenta que la región ecológica III (Central Sur), se caracteriza por ser una zona de transición entre la vegetación de las regiones Ecológicas I Y II del pacifico y Norcentral y la Región Ecológica IV del Atlántico. Las partes mas bajas de esta Región Ecológicas están en su mayoría en pastos, ya que las tierras son muy buenas para este tipo de aprovechamiento.

También encontramos los denominados humedales de San Miguelito, con un total 43,475 ha: 11°25' N y 084°51'O. Situado al sudeste del lago Cocibolca Lago de Nicaragua. El lugar mantiene una rica diversidad biológica que alberga una gran cantidad de especies de aves, peces, reptiles y mamíferos. También realiza una función muy esencial en prevención de desastres naturales en purificar y reciclar el agua del lago.

El humedal de San Miguelito, está ubicado en el municipio del mismo nombre Departamento de Río San Juan, República de Nicaragua, América Central; a 58 Km al noroeste de la de la ciudad de San Carlos cabecera departamental.

La característica hidrológica más importante de esta área es la presencia del Lago de Nicaragua o Lago Cocibolca; que se caracteriza por su limitada profundidad y su función de embalse natural para las aguas drenadas hacia las fosas tectónicas de Nicaragua. La superficie de la cuenca de captación y de escurrimientos de los humedales de San Miguelito está basada en 3 ríos principales que se ubican al Norte y al Sur del pueblo: Tepenaguasapa, Camastro y Tule, que desaguan en el Lago de Nicaragua. Este territorio de cuenca de los humedales de San Miguelito tiene extensión aproximada de 1,226 km².

4.5 Formaciones Vegetales

- 1) Bosques medianos o altos subperennifolios de zonas moderadamente cálidas y húmedas. El área que cubre es de 56,589 ha (46,56%).
- 2) Bosques medianos o altos perennifolios de zonas moderadamente cálidas y húmedas. Esta formación cubre un área de 39,449ha (32,46%)
- 3) Bosques de medianos a altos de sitios inundados periódicamente o permanentemente con agua dulce. Cubre 2,990ha (2,46%)
- 4) Bosques altos perennifolios de zonas frescas muy húmedas. En este tipo de formación vegetal se da una precipitación promedio anual de 2,750 a 3,000 mm, temperatura promedio de 23 a 24° C, altura de 200 a 500 msnm y llueve de mayo a diciembre. Ocupa 22,492 ha (18,52%).

4.6 Características Generales de los Municipios Ubicados en la Cuenca

4.6.1 Ubicación Geográfica

- Morrito

El Municipio de Morrito se encuentra a 232 Km de la ciudad capital y está ubicado entre las coordenadas 11° 37'de latitud Norte y 84° 04 'longitud Oeste. Este se localiza al Sureste del país, con una extensión territorial de 677 Km², ocupando con esa extensión el Municipio más pequeño

del departamento de Río San Juan y su altitud con respecto al nivel del mar oscila entre los 45 a 100 metros.

Sus límites son:

- Al Norte: Municipio de Acoyapa
- Al Sur: Municipio de San Miguelito
- Al Este: Municipio del Almendro
- Al Oeste: Lago de Cocibolca

El Municipio cuenta con veinticuatro comarcas y una cabecera Municipal. Las comarcas que componen al Municipio son las siguientes: San Bartolo, La Flor, El Cortezal, Walter Acevedo, Oropéndola, Palos Ralos, Jesús María, El Corozal, El Cortezal, Hojachijual, Cincoyal, La Pizota, Raicero, Los Cerritos, Palmira, Marilla, el Crucero, Las Puertas, Corralillo, Bo. Las Ñocas, El Bejuco, El Río, Monte Grande, Cuatro Cruces y Morrito como cabecera Municipal.

- San Miguelito

El municipio de San Miguelito está ubicado en el extremo noroeste del departamento de Río San Juan, a una distancia de 248 Km. de la ciudad de Managua, capital de la República de Nicaragua y tiene una extensión de 923 Km². Tiene una altitud sobre el nivel del mar de 44 metros.

Sus límites son:

- Al Norte: Con los municipios de Morrito y El Almendro.
- Al Sur : Con el municipio de San Carlos
- Al Este : Con el municipio de Nueva Guinea (R.A.AS)
- Al Oeste : Con el Lago Cocibolca

El municipio de San Miguelito cuenta con las comarcas San Miguelito, Never Oporta, Las Palomas, EL Tule, Los Ángeles, La Conquista #1, Los Potreros, Mancha de Coyol, San Felipe, Emp. Los Sánchez, El Peñón, El Tamboral #1, Los Arroyos, Los Pantanos, El Ojoche, Quebrada Seca, Guachipilín, La Conquista #2, El Cacao, El Tamboral #2, El Congo, Las Nubes, El Caracol, El Roble, Las Parcelas, La Tigra, El Dorado, El Cojo, El Naranjo, Aguas caliente, El Ayote, La Paila, El Fajardo, El Espejo, El Espino, El Jícaro, El Naranjo y El Toro Bayo.

- El Almendro

Para el caso del municipio de El Almendro, la cabecera municipal está ubicada a 282 km de la ciudad de Managua, capital de la República de Nicaragua y a 91 Km de su cabecera Departamental San Carlos, Río San Juan. Cuenta con una altitud de 190 metros sobre el nivel del mar y con un área de 993 Km².

Sus límites son:

- Al Norte: Municipios de Acoyapa, Villa Sandino y El Coral (Dpto. de Chontales)
- Al Sur: Municipio de San Miguelito (Río San JUAN) y Nueva Guinea (Zelaya Central)
- Al Este: Municipio de Nueva Guinea (R.A.A.S.)
- Al Oeste: Municipio de Morrito (Río San Juan)

El municipio de El Almendro cuenta con un total de 33 comarcas, las cuales son El Almendro, El Silencio, Talolinga, Nisperal, Montes Verdes, La Frescura, El Peligro, Maderas, El Jengibre, Aguas Buenas, Los Monos, Las Bellezas, Caño Blanco, La Ceiba, El Chilamate, El Zapotal, Las Vegas, Las Tranqueras, Villa Álvarez, La Flor, El Triunfo, Caracito, Veracruz, Los Mollejones, El Rubí, Lagunas, Las Latas, El Aparejo, El Garabato, La Cruz, Mantequilla, El Salto y Espino Blanco.

- Nueva Guinea

El municipio de Nueva Guinea, es parte de la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS), y su cabecera departamental dista de la capital en 292 Km.

Sus límites son:

- Al Norte: Municipios Muelle de los Bueyes y El Rama.
- Al Sur: Municipios de San Carlos, El Castillo y Bluefields.
- Al Este: Municipio de El Rama y Bluefields.
- Al Oeste: Municipios de El Almendro, Villa Sandino y San Miguelito.

4.6.2 Población

Cuadro 4: Población de los Municipios de la Cuenca en 2005

Municipio	Total 1,995	Concentrada				Total 2005	Concentrada			
		Urbana	%	Rural	%		Urbana	%	Rural	%
Morrito	6,095	952	15.62	5,141	84.38	6,570	2,029	30.88	1,760	69.12
El Almendro	11,795	1,140	9.67	10,345	90.33	13,363	1,650	12.35	3,267	87.65
San Miguelito	13,534	3,064	22.64	10,470	77.36	17,031	3,857	22.65	3,455	77.35
Nueva Guinea	79,259	31,349	39.55	47,900	60.45	66,936	25,585	38.22	41,341	61.78

Fuentes Bibliográficas: INETER 2008; INEC 2006 (15); INEC 2008

Cuadro 5: Proyecciones de la Población Total por Municipios Período 2010 - 2015

Municipio	TAC (%): R	Total		
		2005	2010	2015
Morrito	0.8	6,570	6,838	7,117
El Almendro	1.2	13,363	14,189	15,067
San Miguelito	2.3	17,031	19,107	21,435
Nueva Guinea	0.7 ⁵	73,632	76,322	78,168

Fuentes Bibliográficas: INETER 2008; INIDE 2007 y 2005

4.6.3 Educación

Cuadro 6: Indicadores de Educación por Municipio (2005)

Municipios	Alumnos/Aula				Alumnos/Profesor				Déficit de Aulas			
	Pre-Esc.	Prim.	Sec.	Total	Pre-Esc.	Prim.	Sec.	Total	Pre-Esc.	Prim.	Sec.	Total
El Almendro	24	37	25	33	19	43	23	34	3	14	0	17
San Miguelito	22	33	28	31	19	35	31	32	3	22	0	25
Morrito	23	38	30	34	21	36	24	31	4	10	1	15

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

⁵ Este dato se tomó de la fuente bibliográfica 16, pues al hacer el cálculo de R, este es negativo debido a la disminución de la población del municipio de Nueva Guinea reportada entre los censos de 1,995 y 2005.

Para el año 2005 la población del municipio de Nueva Guinea matriculada en preescolar era de 5,493, para primaria de 17,465 y para secundaria de 4,478 y un centro de estudios superiores representado por la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe, URACCAN.

Cuadro 7: Tasa de Escolaridad de los Municipios de El Almendro, Morrito y San Miguelito								
Municipios	Tasa Neta De Esc.				Población. Sin Atender			
	Pre-Esc.	Prim.	Sec.	Total	Pre-Esc.	Prim.	Sec.	Total
El Almendro	19.94%	110.00%	33.88%	62.15%	1228	Sin Datos	1325	2553
San Miguelito	32.63%	139.00%	28.33%	75.67%	1317	Sin Datos	1831	3148
Morrito	28.51%	146.00%	41.88%	81.92%	539	Sin Datos	573	1112

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

4.6.4 Salud

Cuadro 8: Cobertura de Salud			
Municipio	Población Atendida	Población Total	%
El Almendro	12550	13363	94%
San Miguelito	13241	17031	75%
Morrito	5522	6570	84%

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

En el municipio de Nueva Guinea existen un total de 27 unidades de salud: un Centro de Salud con camas y 26 Puestos de Salud; el Centro y dos Puestos se ubican en la cabecera municipal, y el resto en las colonias.

4.6.5 Transporte y Red Vial

Morrito

El Municipio de Morrito, tiene la característica de poseer dos vías principales de acceso una terrestre y la otra Acuática. Es importante señalar que el acceso terrestre es la principal vía de comunicación, teniendo la entrada principal a 48 Km de la carreta Acoyapa San Carlos y la

distancia del empalme a la cabecera Municipal a 21 Km. Posee una ruta de bus que circula de la Cabecera Municipal a Juigalpa. Otras vías Terrestre de comunicación interna del Municipio de Morrito son los tramos Cincoyal- La Pizota, que cuentan con un bus que realiza recorrido dos veces a la semana, en un trayecto de 12 Km. Tramo Empalme Walter Acevedo -Palos Ralos, también tiene un Microbús que le facilita el acceso, en un trayecto de 18 km.

San Miguelito

El municipio de San Miguelito cuenta con cuatro unidades de buses que realizan las siguientes rutas: Managua, Juigalpa, Acoyapa y San Carlos. También cuenta con el servicio de transporte lacustre a través del lago de Nicaragua. Para este servicio existe un barco que tiene una frecuencia de efectuar recorridos dos veces por semana. La principal vía de acceso la constituye una carretera de 11 km. que va desde San Miguelito hasta el empalme con la carretera de Acoyapa - San Carlos.

El Almendro

En el municipio El Almendro existen 9 medios de transporte colectivo que les dan el servicio a las comunidades semiurbanas de; Las Bellezas, Caracito, Villa Álvarez, La Flor, El Triunfo, El Zapotal y Pájaro Negro, todas estas a lo interno del Municipio. Algunos de estos medios de forma simultánea realizan giras a lo exterior de El Almendro, además la población utiliza 5 rutas de otros municipios que pasan por la principal vía de acceso local.

Nueva Guinea

Se comunica con la capital de la República por la ruta cabecera municipal - carretera Managua / El Rama, con una longitud total de 292.9 Km. de carretera pavimentada. El municipio cuenta con una red vial interna de 1,793 kilómetros, de los cuales 310 son de todo tiempo y 1,483 son caminos de verano; que también presentan deterioro.

Cuadro 9: Red Vial de los Municipios de Morrito, El Almendro y San Miguelito 2006										
Municipios	Tipo de superficie (Km.)					Estado de la Red			Densidad vial	Pobl. Servid hab/Km
	Pav	Csptt	Csptts	Rodera	Total (Km.)	Bueno	Reg.	Malo		
Morrito	-	68.83	26.45	10.810	106.09	-	19.76	86.33	0.16	61.92
San Miguelito	-	36.79	22.65	49.835	109.28	31.26	6.86	71.15	0.10	155.85
El Almendro	14.88	47.02	70.51	13.760	146.17	14.88	34.89	96.40	0.14	91.42

Nota : Adoq: Adoquinado, Pav: Pavimentada, Csptt.: Camino sin Pavimentar Transitable todo el año, Csptts.: Camino sin Pavimentar transitable en tiempo seco, Roderas

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 10: Síntesis de la Infraestructura													
Municipios	Tipo de superficie (Km.)				Loc con		Tipo de Obras de Agua					Energía Eléctrica	Total sistema Telefónico
	Pav	Csptt	Csptts	Rodera	Transporte		MAG	MABE	PP	PEM	Total		
					Terr	Acu							
Morrito		68.83	26.45	10.81	14	1	1	-	6	8	15	5	3
San Miguelito	-	36.79	22.65	49.83	10	1	3	1	2	12	21	11	3
El Almendro	14.880	47.02	70.51	13.76	20	-	4	-	-	25	29	10	3
Pav: Pavimentada, Csptt: Csptts, Rodera, Terr: Terrestre, Acu: Acuático, MAG: Mini acueducto por Gravedad, MABE: Mini acueducto por Bombeo Eléctrico, PP: Pozo Perforado, PEM: Pozo Excavado a Mano.													

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 11: Transporte Acuático 2006

ORIGEN Y DESTINO	HORARIO		DURACION
Granada – Morrito	Lunes 3pm	Jueves 3pm	9 horas
Morrito – Granada	Martes, 8pm	Viernes 8pm	9 horas
Morrito – San Miguelito	Martes 12:30am	Viernes 12:30am	2 horas
San Miguelito - Morrito	Martes 6pm	Viernes 6pm	2 horas
San Miguelito - San Carlos	Martes 2:00am	Viernes 2:00am	3 horas
San Carlos - San Miguelito	Martes 3pm	Viernes 3pm	3 horas

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

4.6.6 Agua y Saneamiento

No se cuenta en el Municipio de Morrito con el servicio de alcantarillado sanitario, En San Miguelito, se carece de servicios higiénicos. Para el caso de El Almendro, falta el alcantarillado sanitario y letrinas en el municipio, principalmente en las zonas rurales de la jurisdicción.

De acuerdo a ENACAL, el 100% de las viviendas del casco urbano cuentan con el servicio de agua potable. En el sector rural únicamente cuenta con el servicio las comunidades de Never Oporta a través de un mini acueducto; el resto de la población se abastecen de pozos, ojos de agua, ríos y quebradas.

En la cabecera municipal de Nueva Guinea se cuenta con una moderna planta potabilizadora con una vida útil de 40 años que da cobertura las 24 horas del día al casco urbano, con capacidad de potabilizar y distribuir 1,585 gls/minuto, pero que en la actualidad funciona al 40% de esa capacidad, conforme la demanda. Se dispone también de dos tanques y una pila para el almacenamiento de agua potabilizada, con una capacidad total de 700,000 galones. El agua se extrae del Río Zapote, afluente del Río Plata.

En el área rural de Nueva Guinea se cuenta con mini-acueductos por gravedad y por bombeo eléctrico, dando cobertura a más del 50% de la población. Otro buen porcentaje de la población rural cuenta con pozos con bombas de mecate. Tampoco existe sistema de alcantarillado sanitario, por lo que se usan sumideros y letrinas. En algunas zonas urbanas con alta densidad de viviendas esa práctica puede estar contaminando el suelo y el agua subterránea; algunas zonas carecen de sumideros y desechan las aguas servidas en las calles, creando focos de contaminación.

Cuadro 12: Capacidad de los Pozos en Áreas Urbanas Morrito, El Almendro y San Miguelito

Municipios 2006	Población Urbana	Pozos	Horas de Bombeo	Galones por Minuto	Galones por Hora	Galones por Día	Consumo G/D
Morrito	2,029	3	18	120	7200	43,200	40,580
El Almendro	1,650	2	48	82	4,920	118,080	33,000
San Miguelito	3,857	1	24	48	2,880	69,120	77,140

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 13: Sistema de Agua Potable 2006

Municipios	Zonas	Rural con agua	Rural sin agua	TIPO DE ACUEDUCTOS					Pob. Total
				MAG	MABE	PP	PEM	Total Obras	
Morrito	25	9	16	1	-	5	8	14	19864
El Almendro	38	25	13	4	-	-	25	29	13363
San Miguelito	44	21	23	3	1	5	12	21	17031

Nota: MAG: Mini Acueducto por Gravedad, PEM: Pozos Excavado a Mano; PP: Pozos Perforados, CM: Captación por Manantial, MABE: Mini Acueducto por Bombeo Eléctrico

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

4.6.7 Telecomunicaciones y Correos

Morrito

El Sistema de Telecomunicaciones de Morrito se da a través de una Sucursal de CLARO en el casco Urbano, sin embargo no existe una planta que de cobertura para cubrir la demanda de la población a través de sistemas de abonados, también es importante destacar que el Municipio no cuenta con servicios de Correo.

San Miguelito

Para el caso de San Miguelito, existe un total de cuatro cuñas para dar atención al público y once cuñas instaladas en el casco urbano de la cabecera municipal.

El Almendro

Para el municipio de El Almendro en el casco urbano cuenta con el servicio de teléfonos y correos con un inventario de tres teléfonos.

Nueva Guinea

Para el caso de Nueva Guinea, la Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones (ENITEL) cuenta en el municipio con una moderna central digital con capacidad para 400 abonados. La sucursal municipal de Correos de Nicaragua presta todos los servicios propios de la institución, como son distribución de cartas, impresos, paquetes, certificados, paquetería nacional, encomiendas EMS, servicios SERCA, econofax, correo empresarial, y valores declarados. En la cabecera municipal funcionan tres radioemisoras: Radio Manantial, Radio Impacto y Radio Estéreo 8000.

Cuadro 14: Demanda Telefónica

Municipios	Tipo de Sistema			
	Telefax	convencional	Satelital	Total
Morrito	-	-	3	3
El Almendro	-	-	3	3
San Miguelito	-	20	-	20
Total	1	355	9	390

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

4.6.8 Agricultura, Ganadería y Empresas

Morrito

En la actualidad existen algunas pequeñas reservas, en el Municipio de Morrito, estas se encuentran manejadas por voluntad de los finqueros, para protección de sus fuentes de aguas, pero la mayoría del Municipio esta enrumbándose hacia la siembra de pastizales.

El Almendro

Para el caso del municipio de El Almendro, la mayor parte del terreno cultivable está siendo destinado a la producción de pastos y en menor cantidad a los cultivos anuales y perennes; y la mayor parte de la producción es para el autoconsumo familiar, siendo pocos los dueños de fincas que cuentan con un título de propiedad y en su mayoría el documento que poseen es Escritura de Sesión de Posesión y mejoras o Posesión y Mejoras.

El Municipio de El Almendro, al igual que todos los otros Municipios del país de climas tropicales, ha sufrido atrozmente cambios bruscos en su estado natural (bosques), por diversas razones; la colonización de la zona causó la tala, para convertir los bosques en áreas agropecuarias, la descontrolada extracción de madera preciosa, el campesino motivado por la introducción de la ganadería extensiva y la agricultura migratoria y finalmente el huracán "Johan", arrasando con grandes superficies de reservas boscosas, principalmente la rivera de los

ríos, este acelerado proceso de deforestación, esta culminando en un grave deterioro de los recursos naturales y de la pérdida de fuentes de agua.

Nueva Guinea

Nueva Guinea, es un municipio agrícola que usa la mayor parte de su suelo para la producción pecuaria; esto se debe a que el modelo de acumulación predominante es el ganadero, propio de la cultura productiva de chontales y Boaco, departamentos de donde proceden la mayoría de los antiguos migrantes de frontera agrícola, y buena parte de los nuevos.

Cuadro 15: Principales Cultivos Ciclos agrícolas (Manzanas)			
Cultivos 2003 – 2004	Morrito	El Almendro	San Miguelito
Maíz	4,581	2,154	21,764
Arroz seco	3,489	205	10,930
Frijol	2,725	1,787	13,282
2006 - 2007 época de primera			
Maíz	200	750	600
Arroz seco	400	100	350

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 16: Producción Pecuaria 2001 – 2005		
Municipios	Total ganado vacuno	
	2001	2005
El Almendro	70,683	118,153
San Miguelito	36,818	64,040
Morrito	24,218	25,000
Nueva Guinea		

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 17: Producción Ganadera 2006

Municipio	Ganado Bovino				Ganado Porcino
	Número	Prod. Queso	Prod. Leche	Prod. Carne	
	Cabezas	Quintales/día	Galones/día	Cabezas/mes	
Morrito	25,000	50	3,000	30	6,732
El Almendro	118,153	71	8,820	276	nd
San Miguelito	64,040	28	2,500	120	5,780

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 18: Número de reses sacrificadas

Años	Morrito	El Almendro	San Miguelito
2000	72	416	506
2001	113	357	457
2002	100	362	444
2003	132	423	347
2004	207	450	362
2005	202	381	317

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 19: Ganado Menor 2001

Municipios	Porcino	Aves
El Almendro	5,219	21,301
San Miguelito	5,409	32,709
Morrito	1,528	11,392

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 20: Producción Pesquera 2005

Municipios	Libras de pescado
Morrito	59,617
San Miguelito	234,336

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

Cuadro 21: Distribución Municipal de la Inversión Pública 2004 – 2005

Municipios	2004	2005
Morrito	5,832,309	8,972,374
El Almendro	10,912,402	21,912,567
San Miguelito	8,696,610	17,877,017

Fuente Bibliográfica: INETER 2008

4.7 Proceso de Eutrofización

La eutrofización es el proceso de sobreproducción de algas y macrófitas en cuerpos de agua que puede producir problemas en ciertos usos como son, entre otros: suministro de agua potable por alteración de sus propiedades organolépticas (olor, sabor), corrosión del equipo hidroeléctrico y distintos trastornos en los procesos de tratamiento potabilizador por disminución del contenido de oxígeno, acumulación del amoníaco en la columna de agua y resuspensión de ciertos metales (Fe, Mn) del sedimento bajo condiciones anóxicas. Aunque es un proceso que, de forma lenta, puede tener un origen natural, hoy en día es, fundamentalmente, de carácter cultural, acelerado por el aporte continuo de nutrientes de origen antropogénico.

Otro concepto de la Eutrofización es el enriquecimiento de un cuerpo de agua con sustancias (nutrientes), las cuales incrementan el crecimiento de las poblaciones de plantas (macrófitas y fitoplancton). Eutrofización es un proceso natural de los cuerpos de agua, pero la influencia del hombre puede acelerar este proceso, que se conoce como “EUTROFIZACIÓN CULTURAL”.

La Eutrofización es causada por:

- ❖ Aguas residuales domésticas e industriales.
- ❖ Aguas sobrantes de riego en la agricultura que han sido enriquecidas con abono (Fósforo y Nitrógeno).
- ❖ Aguas de escorrentía después de talas, incendios o del uso de herbicidas, operaciones que movilizan una elevada proporción de los nutrientes contenidos en el suelo.

Este proceso tiene efectos que abarcan todos los componentes del medio ambiente, tanto los abióticos, bióticos y socioeconómicos.

Degradación de la calidad del agua y el incremento de los costos para su suministro, la que es causada por el alto contenido de materia orgánica disuelta o en partícula. Estas sustancias orgánicas, algunas veces tóxicas, son las responsables del mal olor y sabor del agua. La alta concentración de partículas (algas, zooplankton, bacterias y detritus) presentan problemas de obstrucción de filtros.

La estructura de la comunidad dentro del ecosistema es afectada, ya que esta llega a variar conforme a las nuevas condiciones del ecosistema. Esto conlleva a la eliminación de muchas especies y la proliferación de otras que se adaptan a este tipo de condiciones. El efecto más común es la proliferación de algas, principalmente las verdes-azules.

El mecanismo inicia cuando un cuerpo de agua recibe aporte de materiales por el arrastre de agua proveniente de su cuenca de drenaje superficial, por la lluvia, nieve, sustancias transportadas por el viento y aguas que fluyen por el subsuelo (flujo subterráneo). El establecimiento de una cuenca de drenaje y la deforestación asociada al desarrollo de granjas y ciudades, entre otros, cambia ordinariamente el proceso natural de eutrofización.

La esorrentía de la mayoría de los materiales desde la superficie terrestre a la reserva de agua, se aceleran. Un aumento en la entrada de nutrientes minerales principalmente fósforo y nitrógeno a un lago puede estimular el crecimiento de algas y plantas acuáticas, lo que a su vez puede favorecer el desarrollo de peces y otros organismos de niveles tróficos superiores en la cadena alimenticia.

Los factores naturales que pueden afectar el grado de eutrofización de los lagos se relaciona principalmente con la cuenca de drenaje y entre ellos se incluye la localización, el clima, la hidrología, la geología y la fisiología-geoquímica de dicha cuenca. Cada uno de estos factores puede influir significativamente en la entrada de nutrientes a la masa de agua y, por tanto, en su productividad biológica global.

Los nutrientes que influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En los últimos 20 a 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en algunos mares casi se han duplicado. Las principales causas de este problema son los vertidos domésticos y humanos que contienen grandes proporciones de compuestos de fósforo, iones de calcio, magnesio, hierro, manganeso, así como de nitratos provenientes de la contaminación atmosférica.

Las fuentes de eutrofización son:

Origen natural: Es un proceso que se produce lentamente de forma natural en los lagos por el aporte de nutrientes que reciben a diario.

Origen humano: Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo en graves problema de contaminación. Las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales que contienen detergentes y desechos orgánicos, así como, los vertidos provenientes de granjas y el sector agrícola que aportan fertilizantes y otros residuos ricos en fosfato y nitratos.

Por esto es importante, el papel del fósforo y nitrógeno en la dinámica de las poblaciones de algas, tanto en lo que respecta a las concentraciones como a la composición de las distintas especies; por tanto, limitar la entrada de estos “macro nutrientes” supone la primera opción para controlar la eutrofización. Una de las estrategias más efectivas a largo plazo para el control de la eutrofización de los lagos es reducir la cantidad de nutrientes que entran en dicha masa de agua.

4.8 Nutrientes Participantes en el Proceso de Eutrofización

Las relaciones funcionales en términos de productividad, están dadas entre otras variables (también se puede citar la energía solar), con el Fósforo y Nitrógeno, los que están considerados como los principales nutrientes dentro de los ecosistemas acuáticos.

Para el caso del Fósforo y Nitrógeno se debe tener claro el concepto de nutriente limitante, que se basa en la premisa que, dada una determinada estequiometría celular de las plantas acuáticas, el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa vegetal es aquél que primero se consume o que alcanza un mínimo antes que los otros nutrientes relativos a tal estequiometría. La relación

nitrógeno total a fósforo total propuesta por Vollenweider (1983) para el fitoplancton y utilizada por el Proyecto (Adaptación de la Metodología de Eutrofización en Lagos) fue de 9:1. De esta forma, los lagos/embalses con relaciones de nitrógeno a fósforo superiores a un valor de 9 fueron considerados potencialmente limitados por fósforo, mientras que aquéllos cuya razón era inferior a 9 eran limitados por nitrógeno.

Es por ello que estos elementos químicos han requerido de estudios diversos a nivel mundial por medio de diversos métodos para calcular la cantidad de estos nutrientes y el estado trófico de las aguas de acuerdo a la concentración de P y N y Nicaragua no es la excepción.

Para el caso del Fósforo (P), Toda forma presente en las aguas naturales, adquiere la forma iónica encontrándose en forma de fosfato. Así, en limnología se debe utilizar ésta denominación para referirse a las diferentes formas del fósforo en el ambiente acuático, encontrándose como:

- ❖ Fosfato particulado (P-particulado)
- ❖ Fosfato orgánico disuelto (P-orgánico disuelto).
- ❖ Fosfato inorgánico disuelto u orto fosfato o fosfato reactivo (P-orto fosfato).
- ❖ Fosfato total disuelto (P-total disuelto).
- ❖ Fósforo total (P-total).

Desde el punto de vista limnológico, todas las formas (también llamada fracciones) de fosfato son importante, pero, el orto fosfato asume una mayor relevancia, por ser la principal forma del fosfato asimilada por los vegetales acuáticos. De ésta manera, su cualificación en la investigación limnológica se torna indispensable.

El fosfato presente en los ecosistemas acuáticos continentales tiene origen natural y artificial. Dentro de las fuentes naturales, las rocas de la cuenca de drenaje constituye la fuente básica de fosfato para los ecosistemas acuáticos continentales. Las fuentes artificiales más importantes de este elemento son desechos domésticos e industriales, fertilizantes agrícolas y material particulado de origen industrial contenido en la atmósfera.

Gran parte del fosfato que llega a los ecosistemas acuáticos continentales puede ser precipitado al sedimento, siendo en muchos casos retornado al metabolismo límnic. De este modo la cantidad de fosfato reciclado al ambiente depende de las condiciones físicas y químicas del medio y de la tasa de descomposición de la materia orgánica.

En el caso del Nitrógeno (N), es uno de los dos elementos más importantes en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos. Esta importancia se debe principalmente a su participación en la formación de proteínas, uno de los componentes básicos de la biomasa. Cuando se presenta en bajas concentraciones, puede actuar como factor limitante en la producción primaria de los ecosistemas acuáticos.

Las principales fuentes del nitrógeno son:

- ❖ Precipitación (lluvia).
- ❖ Material orgánico e inorgánico de origen alóctono.
- ❖ Fijación del nitrógeno molecular dentro del propio lago.

El nitrógeno está presente en los ecosistemas acuáticos en varias formas:

- ❖ Nitrato (NO_3)
- ❖ Nitrito (NO_2)
- ❖ Amonia (NH_3)
- ❖ Amonio (NH_4).
- ❖ Oxido nitroso (N_2O)
- ❖ Nitrógeno molecular (N_2).
- ❖ Nitrógeno orgánico disuelto (péptidos, purinas, aminas, aminoácidos etc.).
- ❖ Nitrógeno orgánico particulado (bacterias, fitoplancton, zooplancton y detritos).

Dentro de las diferentes formas, el nitrato juntamente con el Ión amonio asumen gran importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que representan las principales fuentes de nitrógeno para los productores primarios.

Además de las formas inorgánicas del nitrógeno, los productores primarios pueden asimilar formas orgánicas tales como: urea, aminoácidos, péptidos, etc. estos compuestos, junto con otros forman un grupo de compuestos generalmente denominados nitrógeno orgánico disuelto. Siendo las principales fuentes de estos la descomposición y excreción por el fitoplancton y los macrófitos acuáticos.

Solamente cuando las concentraciones de las formas inorgánicas del nitrógeno presentan valores muy bajos o agotados las formas orgánicas son aprovechadas.

El nitrito es encontrado en bajas concentraciones en ambiente oxigenado. En ecosistemas anaeróbico como el hipolimnion de lagos eutróficos en períodos de estratificación, se pueden encontrar altas concentraciones de este Ión. El nitrito representa una fase intermedia entre el amonio (forma más reducida) y el nitrato (forma más oxidada).

El fitoplancton puede asimilar nitrito, en caso de escasez del Ión amonio y nitrato; en este caso el nitrito es reducido, al interior de la célula, y el amonio por medio de la enzima nitrito reductasa. En altas concentraciones, el nitrito es extremadamente tóxico a la mayoría de los organismos acuáticos.

El Ión amonio (NH_4) es muy importante para los organismos productores, especialmente porque su absorción es energéticamente más viable. Para este ión, no tiene la necesidad de reducción al interior de la célula, como ocurre con el nitrato, que es reducido por la enzima nitrato reductasa hasta amonio. Su concentración en las capas donde se encuentra el fitoplancton es, generalmente, muy bajo. De ahí que el nitrato constituye, en la mayoría de los casos, la principal fuente de nitrógeno para los vegetales acuáticos.

En limnología cuando nos referimos a la concentración de amonia, en la mayoría de los casos, nos estamos refiriendo a las concentraciones a dos formas de nitrógeno amoniacal NH_3 y NH_4 . Pudiendo ocurrir otras formas de nitrógeno amoniacal como la hidroxilamina (NH_2OH). Estos compuestos son cuantitativamente inexpresivos y representan formas intermedias del proceso metabólico, por ejemplo la desnitrificación.

Altas concentraciones del ión amonio pueden tener grandes implicaciones ecológicas, como por ejemplo: la influencia fuerte sobre la dinámica del oxígeno disuelto en el medio, dado que para oxidar un mg del ión amonio es necesario cerca de 4.3 mg de oxígeno lo que influencia la comunidad de peces, pues en pH básicos el ión amonio se transforma en amoníaco (NH_3), que dependiendo de su concentración puede ser tóxica para estos organismos. Concentraciones de 0.25 mg/l o superiores a ésta, afectan el crecimiento de los peces.

Otro aspecto ecológico importante del proceso de formación de amoníaco es que, por ser éste un gas, se difunde hacia la atmósfera, pudiendo conllevar pérdidas significativas de nitrógeno al ecosistema acuático.

4.9 Importancia de los Modelos a ser Utilizados y sus Ventajas y Desventajas.

Los modelos consideran el problema, los ecosistemas y los datos, esto es importante para la complejidad del modelo, con los que los datos pueden correr.

Consecuentemente no es siempre posible desarrollar un modelo con el cual se tenga la capacidad predictiva que es necesaria para un problema dado.

El modelador debe ser cuidadoso, con la limitante de información de su modelo y que tampoco presente estas limitaciones junto con su modelo o intente obtener mejores datos.

Según Jørgensen, y Vollenweider, (1989) si disponen de un buen modelo ambiental se obtiene una herramienta importante en el proceso de toma de decisión. Durante los últimos 10 a 15 años se han modelado una gama sumamente amplia de problemas ambientales, lo que ha conformado una importante ayuda para los decisores. Con el rápido crecimiento de la utilización de este tipo de modelos es posible prever que la situación solo habrá de mejorar en el futuro cercano. En el caso de la gestión de lagos los modelos han sido particularmente bien desarrollados.

En la actualidad los modelos en materia de gestión ambiental son ampliamente utilizados en varios países europeos, América del Norte y Japón, pero cada vez se anexan países que asumen la aplicación de estos modelos vía de sus agencias ambientales. A través de la publicación periódica **“Ecological Modelling”** y la Sociedad Internacional de Modelación Ecológica (ISEM) es posible seguir los avances en este campo.

Se han desarrollado varios modelos de eutrofización con un amplio espectro de complejidad como en el caso de los demás modelos. La complejidad adecuada de estas depende de los datos disponibles y del ecosistema.

Los modelos simples de eutrofización se basan en tres etapas:

- Determinación o cálculo de la carga de nutrientes.
- Predicción de la concentración de nutrientes (un solo nutriente).
- Predicción de la eutrofización.

Según (Jørgensen, y Vollenweider, 1989) la base de todo modelo de eutrofización es la determinación del balance de nutrientes, lo que puede realizarse midiendo las concentraciones y las velocidades del flujo de entrada y salida. Alternativamente, es posible así mismo, calcular la carga de nutrientes, aunque es recomendable utilizar el método de cálculo solo cuando no se dispone de datos.

Los modelos aplicados en las cuenca hidrográfica, tanto para la carga de nutrientes como de estado trófico, son modelos simples y confiables y que tienen su aplicabilidad cuando no se cuenta con mayor cantidad de información y recursos económicos, como es el caso de Nicaragua, sin embargo, se debe tener claro que el modelo que se desarrolla entre más se aproxima a la realidad por la cantidad de factores que se tomen en cuenta, así se espera una mejor caracterización de lo que está ocurriendo en la cuenca.

Durante el desarrollo del modelo de fósforo total se efectuó una verificación. La capacidad del modelo empírico desarrollado por el CEPIS para predecir las concentraciones de fósforo total se probó con la serie de datos de otros cuerpos de agua cálidos tropicales de África (Water Research Commission and National Institute for Water Resources, 1980). El desempeño del modelo contra dichos datos se puede calificar de bueno, lo que se confirma aún más por la alta correlación obtenida entre los valores medidos y calculados de fósforo, y cuyas pendientes no se diferencian significativamente del modelo del CEPIS.

Otro aspecto que se debe mencionar es que el empleo de modelos matemáticos permite predecir los impactos en la calidad del agua debidos a un cambio de actividades en la cuenca y, de esta forma, establecer las prioridades de desarrollo en función de los usos deseados del recurso hídrico.

El modelo matemático simplificado para la evaluación de la eutrofización en lagos cálidos tropicales desarrollado por el CEPIS, es una herramienta útil para la gestión y planificación práctica de los lagos/embalses cuyas condiciones hidrológicas, climáticas y limnológicas están incluidas en el universo de datos utilizado para su desarrollo.

V. HIPÓTESIS

La Situación actual de las características Ambientales de la cuenca del Río Tepenaguasapa está derivando en un aporte significativo de nutrientes de Fósforo y Nitrógeno a este.

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Tipo de Estudio.

El trabajo presente por el nivel de investigación alcanzado es un estudio de tipo descriptivo, ya que solo establece relaciones de factores (sin establecer relaciones de causalidad). Además en escala de tiempo se cataloga como de corte transversal ya que el problema será abordado en un momento o período de tiempo determinado.

Esto quiere decir que se investigará la cantidad de fósforo y nitrógeno que es vertida por medio de la cuenca⁶ de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa hacia el Lago Cocibolca, por medio de las variables geología, precipitación media anual, población de la cuenca y el uso de suelo, en una escala de tiempo breve.

6.2 Universo y Muestra.

El universo de este estudio está representado por la cuenca del Río Tepenaguasapa, el cual se ubica entre los municipios del Almendro, Morrito y San Miguelito, del departamento de Río San Juan.

La muestra es conformada por el área de la cuenca del Río Tepenaguasapa, que mide **133,435.36 Hectáreas (1,334.35 Km²)**. Además de la población ubicada en la cuenca que es de **19,498** habitantes.

⁶ Cuenca Hidrográfica: Es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por una línea imaginaria que marca los puntos de mayor elevación en dicha unidad, en donde brota o escurre el agua en distintas formas, y esta se almacena o fluye en forma superficial, subsuperficial y subterránea, hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal. La cuenca hidrográfica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas por micro cuencas.

6.3 Variables de Estudio.

6.3.1 Precipitación: es el agua procedente de la atmósfera que en forma sólida y/o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.

6.3.2 Uso actual del suelo: Es la práctica, aprovechamiento y/o explotación de la capa superior de la corteza terrestre, capaz de sostener la vida vegetal en un lugar determinado.

6.3.3 Geología: Son las condiciones físico – geográfica de la superficie terrestre entendiéndose por ello, la ubicación de tierras, mares, relieves y climas existentes en diversas épocas de la historia geológica.

6.3.4 Población: Es el conjunto de individuos que habitan en un lugar determinado.

6.3.5 Concentraciones de N y P: Concentración de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en las aguas del Río Tepenaguasapa.

6.4 Metodología empleada en el Cálculo de la Carga de Nitrógeno y Fósforo que es Vertida hacia el Río Tepenaguasapa.

La metodología que fue empleada se llama “**Cálculo de la Carga de Nutrientes en Lagos**”, la que consiste en la aplicación de una serie de fórmulas para calcular la carga de fósforo y nitrógeno provenientes del escurrimiento natural, precipitación en forma de lluvia y el escurrimiento de origen artificial.

En estas fórmulas hay diversas variables, las cuales deben ser calculadas, dando como ejemplo la precipitación en la cuenca, lo que se logró a través de mapas generados por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), los que a su vez obtuvieron la información del Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR).

6.4.1 Estimación de Fósforo y Nitrógeno por la Precipitación.

Para el cálculo de este dato fue empleada la información oficial obtenida del SINIA, el cual elaboró los mapas sobre el tema.

La cuenca del Río Tepenaguasapa es a su vez una subcuenca del Lago Cocibolca, sin embargo su tamaño es relativamente grande (133,435.36 Ha), además se encuentra dentro de un gran rango de precipitación media anual, variando desde los 2,400 mm anuales hacia el este de la cuenca (zona alta) hasta los 1,400 mm anuales (zona baja) hacia la parte oeste de la cuenca, lo que da un rango de diferencia de 1,000 mm, lo cual es una cifra muy alta.

También la cuenca se ubica dentro de dos zonas ecológicas según Salas, las cuales tienen características particulares, resultando que el sector bajo es parte de la Región Ecológica III (Central Sur), la que a su vez por la diversidad en las características de la vegetación y ecología se subdivide a su vez en cinco subregiones.

Esta corresponde al trópico húmedo de Nicaragua, con variantes geológicas, orográficas, climáticas, edafológicas y bióticas, por las que se ha ameritado la subdivisión en cinco subregiones ecológicas para facilitar su estudio.

La parte baja de la cuenca del Tepenaguasapa corresponde a bosques medianos o altos sub perennifolios de zonas moderadamente cálidas y húmedas, siguiendo en una pequeña parte media con características de bosques medianos o altos perennifolios de zonas moderadamente cálidas y húmedas y en la parte alta las características son bosques altos perennifolios de zonas frescas muy húmedas.

Por lo expresado en los párrafos anteriores, es obvio que se trata de regiones ecológicas distintas y que las precipitaciones también son muy diferentes entre un sector y otro (Mapa 1, Anexo 1), decidimos sectorizar (cuatro sectores) de acuerdo al mapa de precipitación de 200 mm en 200mm hasta llegar al sector que se encuentra más arriba en la cuenca, asignándole un rango de 400 mm, esto debido a la poca área que esto representa y que esta precipitación no cae directamente sobre el Río Tepenaguasapa. Una vez obtenida esta información sectorizada, se realizó el cálculo de la

cantidad de Fósforo y Nitrógeno que es recibida en la cuenca de drenaje por efecto de la precipitación. A continuación se presenta las cifras escogidas para realizar los cálculos:

2,400 mm

2,000 mm

1,800 mm

1,600 mm

Siguiendo con la toma de valores y considerando que se trata de un sistema lótico, caracterizado por ser muy largo y de poca anchura (un río), el cálculo del aporte de nutrientes por la precipitación en el espejo de agua se realizó tomando en cuenta información generada por el SINIA y la visita de campo al sitio, donde se establece que el largo del Río Tepenaguasapa es de 102.15 Km y que su anchura promedio es de 60 m aproximadamente, lo que da un espejo de agua promedio de 6,129,055.20 m², o sea un total de 612.91 Ha

Este método hace una relación entre la precipitación y las concentraciones de Fósforo (C_{PP}) y Nitrógeno (C_{NP}) que son escurridas, las que se presentan a continuación en el Cuadro 22:

Cuadro 22. Valor Medio de Concentraciones de Fósforo y Nitrógeno		
Precipitación	C _{PP}	C _{NP}
Rango	0.025-0.1	0.3-1.6
Media	0.07	1.0

Fuente Bibliográfica: Jorgensen, S.E. y Vollenweider, 1989

De acuerdo a este método, se ha tomado para efectos del cálculo de la carga de Fósforo el dato medio 0.07 mg L⁻¹ y para caso del Nitrógeno el dato de 1 mg L⁻¹

El Cálculo se hizo a través de las fórmulas siguientes:

$$I_{PP} \text{ (mg a}^{-1}\text{)} = P \text{ C}_{PP} \times A_S$$

$$I_{NP} \text{ (mg a}^{-1}\text{)} = P \text{ C}_{NP} \times A_S$$

Donde:

A_S = Área superficial del Cuerpo de Agua en metros cuadrados (m^2)

C_{PP} = Concentración de Fósforo por Precipitación

C_{NP} = Concentración de Nitrógeno por Precipitación

P = Precipitación Media Anual de la Cuenca

I_{PP} = Carga de Fósforo por Precipitación

I_{NP} = Carga de Nitrógeno por Precipitación

6.4.2 Estimación del Ecurrimiento de Fósforo y Nitrógeno a través del Uso del Suelo en la Cuenca de Estudio.

El modelo hace una clasificación del tipo de usos que se establecen en los suelos, los que son detallados a continuación:

1. **Ecurrimiento en bosque:** Son las áreas de bosque en donde la precipitación que es interceptada por la cubierta vegetal, corre hacia el suelo por el tronco o ejes principales de la planta sin infiltrarse en el suelo.
2. **Bosque+pastura:** Son las agrupaciones de plantas en las que predominan los árboles y otros vegetales leñosos, generalmente con un suelo de cierto grado de espesura, con asociaciones de hierba y comida.
3. **Áreas Agrícolas:** Son las extensiones de áreas geográficas en que se presenta una determinada especie vegetal o animal

Al obtener el dato del uso del suelo, se hizo una comparación entre los valores medios que se deben considerar para determinar la geología y el uso del suelo y de esa forma asignarles un valor, para el Fósforo y Nitrógeno.

Geología de la Cuenca.

Para la determinación de los valores de la variable geología presente en la cuenca de estudio, se hizo uso de la información suministrada por la referencia del mapa geológico generado por el SINIA (Anexo 1, Mapa 3), que cuenta con un total de seis formaciones. Luego de obtenidos estos datos, el área se clasificó en ígnea o sedimentaria para adecuarlo al modelo empleado, lo que se logró tomando como referencia para la clasificación nuestros conocimientos y la opinión de un especialista en minas.

Se empleó el siguiente Cuadro (23) para determinar el valor correspondiente en el área de estudio para la carga de Fósforo y Nitrógeno:

Cuadro 23: Esquema de Exportación de Fósforo (E_P) y Nitrógeno (E_N) dadas en $\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$.				
Uso del suelo	E_P		E_N	
	Clasificación Geología Ígnea	Sedimentaria	Clasificación Geología Ígnea	Sedimentaria
Escurrimiento en Bosque	0,7-9	7-18	130-300	150-500
Rango Media	4.7	11.7	200	340
Bosque + Pastura	6 – 12	11 – 37	200 - 600	300 - 800
Rango Medio	10.2	23.3	400	600
Áreas Agrícolas				
Cítricos	18			2240
Pastura	15 - 75			100 – 850
Labranza	22-100			500 - 1200

Fuente Bibliográfica: Jorgensen, S.E. y Vollenweider, 1989

Luego de esto, se empleó las fórmulas siguientes:

$$I_{Pt} (\text{mg a}^{-1}) = \sum_{i=1} A_t (\text{m}^2) \times E_P (\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1})$$

$$I_{Nt} (\text{mg a}^{-1}) = \sum_{i=1} A_t (\text{m}^2) \times E_N (\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1})$$

Donde:

E_P ($\text{mg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)	=	Carga Natural de Fósforo ($\text{miligramos/m}^2 \cdot \text{año}$).
E_N ($\text{mg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)	=	Carga Natural de Nitrógeno ($\text{miligramos/m}^2 \cdot \text{año}$)
A_t	=	Área total en metros cuadrados (m^2)
E_P	=	Exportación de fósforo (miligramos/año)
E_N	=	Exportación de nitrógeno (miligramos/año)

6.4.3 Cargas Artificiales de Fósforo y Nitrógeno.

6.4.3.1 Población de la Cuenca del Río Tepenaguasapa

Para el cálculo de la población que existe dentro de la cuenca se ha usado el censo poblacional llevado a cabo en el año 1995 y 2005 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

De estos se ha tomado la cifra de la población de los municipios de Morrito, San Miguelito, el Almendro y Nueva Guinea. Posteriormente se empleó la fórmula de la Razón de Crecimiento de la población para posteriormente hacer un estimado de la población actual dentro de cada municipio:

$$R = (P_d / P_0)^{1/n} - 1, \text{ donde}$$

R	= Razón de Crecimiento
P_0	= Población de cada municipio en el año base Cero, en nuestro caso 1995
P_d	= Población de cada municipio en el año de interés, en nuestro caso 2005
n	= Número de años transcurridos desde 0 hasta d

Una vez obtenida R, se realizó la proyección para obtener el estimado de la población (habitantes) en los cuatro municipios de interés, en otras palabras P_{2008} . Para lograr obtener este dato se empleó la fórmula siguiente:

$P_d = P_0 * (1+R)^n$, donde al igual que el cálculo de R

P_d = Población de cada municipio en el año de interés, en nuestro caso el 2008

P_0 = Población de cada municipio en el año base Cero, en nuestro caso el 2005

R = Razón de Crecimiento

n = Número de años transcurridos desde 0 hasta d

Cabe destacar que el valor de R en los cuatro municipios es el dato que se asemeja más a las características de la población de la cuenca del Río Tepenaguasapa, ya que se trata de información precisamente de los municipios, los que contienen a la población de la cuenca en estudio. También se trata de la mínima expresión de R que se acerca a la población de estudio, conteniendo además características ambientales iguales y semejantes.

Finalmente, al obtener el estimado de la población habitante de la cuenca, se tomó el dato del área de cada municipio que pertenece a la cuenca del Río Tepenaguasapa y se hizo una operación de relación (regla de tres simple) entre el área y la proyección de la población.

6.4.3.2 Cálculo de Fósforo y Nitrógeno de Origen Artificial

Las cargas artificiales de fósforo y nitrógeno fueron calculadas por medio del resultado de la multiplicación de la cantidad de población que habita dentro de la cuenca y las descargas per cápita anuales de fósforo y nitrógeno proporcionadas en el método, utilizando la media como valor constante. En el cuadro 24, se muestran los valores que el método proporciona para calcular el aporte artificial de los nutrientes en estudio.

Cuadro 24: Medias de las Descargas Per- Cápita Anuales de Fósforo y Nitrógeno		
Nutrientes	Descargas per-cápita anuales	Media
Fósforo	800-1800 g	1,200
Nitrógeno	300-3800g	3,400

Fuente Bibliográfica: Jørgensen, S.E. y Vollenweider, 1989

La cantidad de habitantes en el municipio respectivo se relacionó con el área que ocupa cada municipio dentro de la cuenca del Río Tepenaguasapa, obteniéndose la población que ocupa la cuenca por cada municipio de acuerdo al área que ocupa esta. Finalmente se hizo la suma aritmética de la cantidad de habitantes por cada sector para obtener el gran total de personas que habitan el área de la cuenca.

Una vez obtenido el dato, para el cálculo del aporte de carga artificial de nutrientes se multiplicó el total de la población de la subcuenca por la media de las descargas per cápita anuales de fósforo y nitrógeno que son proporcionadas por el método, lo que se detalla a través de la siguiente ecuación:

$$I_{Pw} = E_P \times \Sigma ha$$

$$I_{Nw} = E_N \times \Sigma ha$$

Donde:

E_P = Carga Anual Per cápita de Fósforo

E_N = Carga Anual Per cápita de Nitrógeno

Σha = Total de habitantes de la cuenca

I_{Pw} = Carga Artificial de Fósforo

I_{Nw} = Carga Artificial de Nitrógeno

6.4.4 Carga total de fósforo y nitrógeno (Carga total de Nutrientes) escurrida hacia el Río Tepenaguasapa.

La carga total de Fósforo y Nitrógeno se obtuvo de la sumatoria de los resultados de las cargas provenientes de la precipitación, uso de suelo y cargas artificiales de Nitrógeno y Fósforo.

Las Cargas Totales de Fósforo y Nitrógeno están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$I_P = I_{PP} + I_{Pt} + I_{Pw}$$

$$I_N = I_{NP} + I_{Nt} + I_{Nw}$$

Una vez obtenidos estos datos, se sumaron para conocer la Carga Total de Nutrientes (CTN) que son depositadas en el Río Tepenaguasapa anualmente, lo cual lo denotamos por la ecuación siguiente:

$$CTN = I_P + I_N$$

Para efectos de esquematizar el dato obtenido, en la sección de Resultados y Discusión, elaboramos e hicimos uso del Cuadro 25 mostrado a continuación:

Cuadro 25: Carga Total de Fósforo y Nitrógeno Proveniente del Drenaje Superficial de la Cuenca del Río Tepenaguasapa										
CARGAS	FÓSFORO Ton/año	PORCENTAJE P			NITRÓGENO ton/año	PORCENTAJE N			CARGA TOTAL Ton/ Año	PORCENTAJE TOTAL
		P/P	P/N	TOTAL		N/N	P/N	TOTAL		
Precipitación Atmosférica.										
Procedentes del suelo.										
Artificiales										
Gran Total										

En este Cuadro se ha incorporado el dato de la relación que hay del Fósforo proveniente de las diferentes fuentes (Relación P/P), así como del Nitrógeno (N/N), con lo que se puede distinguir cual es la fuente que tiene el mayor impacto en cuanto al aporte de estos nutrientes dentro de la cuenca según la fuente.

De igual forma, se ha incorporado la relación Fósforo y Nitrógeno (P/N), que muestra el comportamiento en cuanto al porcentaje que cada nutriente incorpora en la cuenca con respecto a la misma fuente.

También se encuentra dentro del Porcentaje tanto de Fósforo como del Nitrógeno, la columna de “Total”, lo que representa la relación que existe por cada fuente y tipo de nutriente con respecto a la cantidad total de nutrientes que es escurrida en la cuenca.

6.4.5 Estimación del Estado Trófico del Ecosistema.

Para la estimación del estado trófico del Río Tepenaguasapa se utilizó el Modelo Simplificado para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales.

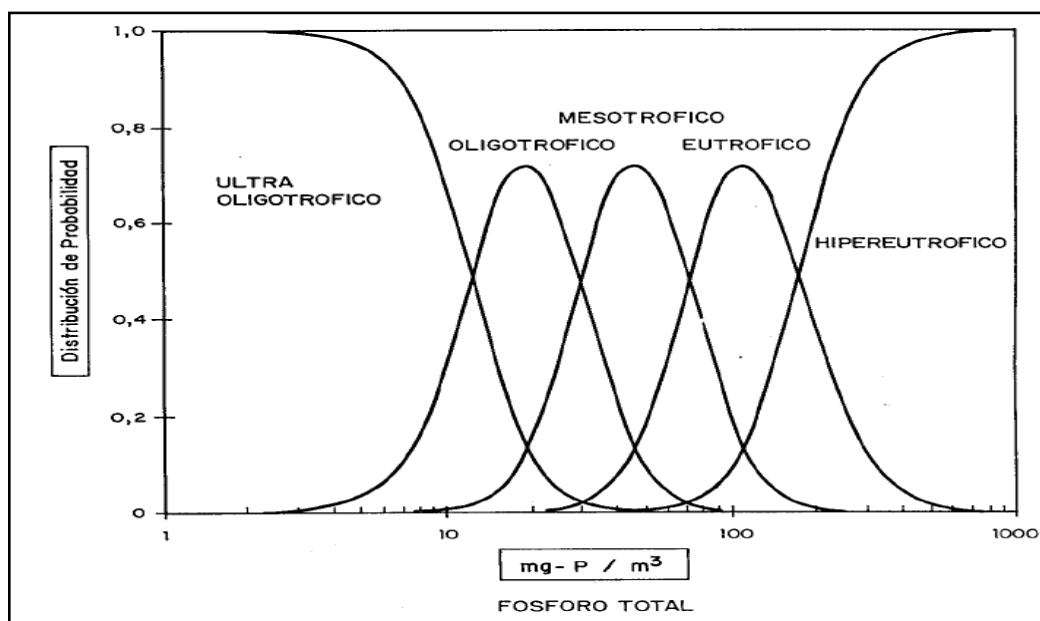
El desarrollo de la metodología simplificada para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales (modelo de fósforo total desarrollado por el CEPIS/HPE/OPS) utiliza 39 datos, correspondientes a 27 lagos/embalses de América Latina y el Caribe con la información necesaria para un análisis apropiado. Estos datos incluyen una amplia diversidad de condiciones limnológicas que van desde oligotrófico a hipereutrófico, clasificación trófica y de profundidades someras a lagos muy profundos, donde en la mayoría de los lagos está limitada por el fósforo.

Teniendo en cuenta que los datos fueron recogidos y analizados por diferentes investigadores de diversos laboratorios de la Región, durante varios años, se asume una variabilidad en su calidad. Sin embargo, considerando la amplitud del rango de datos cubierto y la naturaleza aleatoria de la variabilidad en calidad, no se esperan desviaciones sesgadas significativas en las relaciones generales obtenidas.

Se transformaron los datos a sus logaritmos naturales, previo análisis estadístico de regresión múltiple ("Stepwise"). Se efectuaron varias comparaciones estadísticas para cuantificar el estado de la verificación de los modelos y evaluar su validez (Thomann, 1982). Se calcularon los coeficientes de correlación, la regresión lineal optima entre concentraciones medidas y calculadas, así como el limite de confianza de 95% ($P < 0,05$). Se utilizó el error estándar de la estimación (error cuadrático medio) como medida del error entre los modelos y los datos observados. También se empleó la prueba nomométrica de Mann-Witney (modificación para varianza de Siegel y Tukey) (Conover, 1980) para examinar si la diferencia en dispersión del error estándar entre modelos era significativa.

Para la estimación del estado trófico, el modelo presenta un nomograma de distribución probabilística en las que se ubicaron los niveles o concentraciones de fósforo total que fueron encontradas el Río Tepenaguasapa.

Gráfico 1: Nomograma de Referencia al Estado Trófico Según la Concentración encontradas en el Cuerpo de Agua



Fuente Bibliográfica: CEPIS 1987

Para el cálculo del estado trófico presente en el Río Tepenaguasapa se hizo uso de las concentraciones de Fósforo obtenidas de la bibliografía, además de las muestras que se hicieron en el presente trabajo con apoyo del CIEMA.

Una vez obtenida la concentración de Fósforo en el cuerpo de agua, se buscó por simple inspección en el nomograma cual es el estado trófico que le corresponde, así como la distribución de probabilidad de ese estado.

6.4.6 Procesamiento de la Información

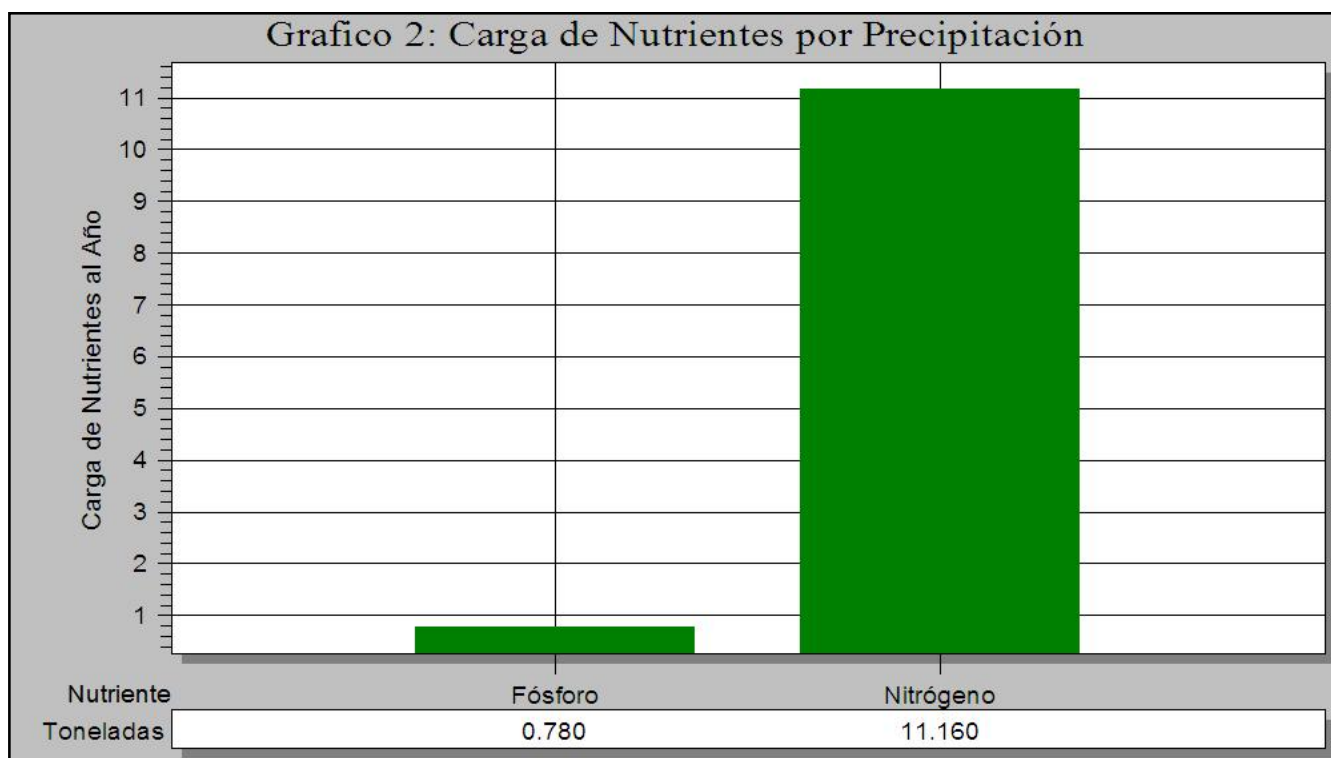
Con la información recopilada, se elaboraron matrices expresando las variables en los métodos a aplicar, esto con la ayuda de los programas Microsoft Excel y Microsoft Access, para luego hacer los gráficos con ayuda de los programas Epi Info y Microsoft Picture Manager según el caso, así como los cuadros.

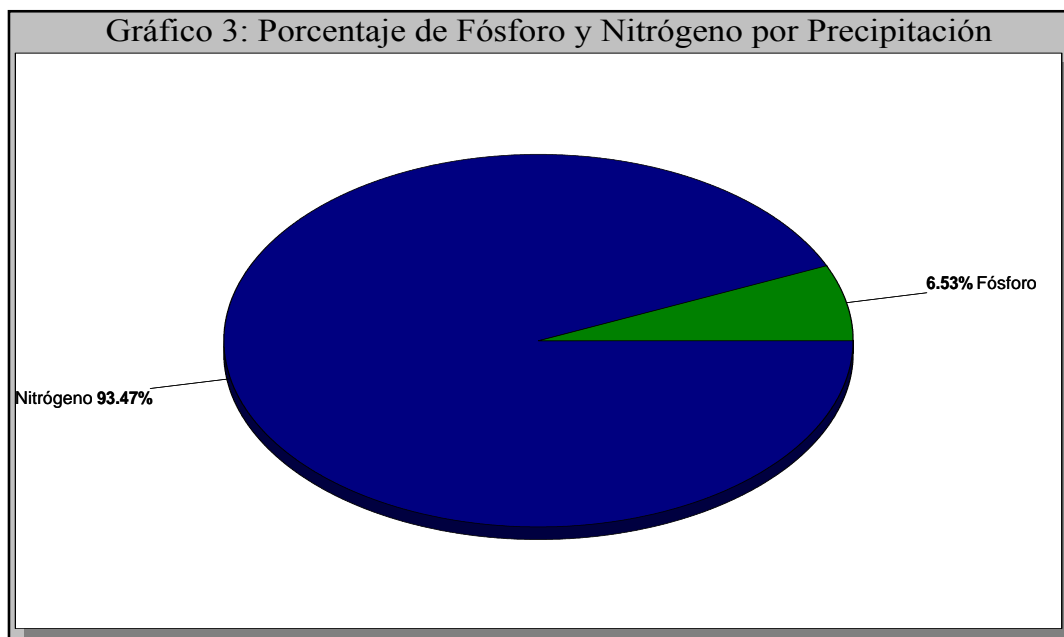
El presente informe final se hizo con el programa Microsoft Word, donde se expresan los resultados y discusión junto con las conclusiones y recomendaciones, así como los diversos gráficos y cuadros posteriores al procesamiento de la información.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Carga de Nutrientes Provenientes de la Precipitación

Cuadro 26: Carga de Nutrientes Estimada por Precipitación		
Nutriente	Estimado (Ton/Año)	%
Fósforo	0.781	6.53
Nitrógeno	11.15	93.47
Total	11.94	100.00





La cantidad de Fósforo y Nitrógeno que es vertida por medio de la precipitación al Río Tepenaguasapa es un total de 11.94 Ton/año (Cuadro 26 y Gráfico 2). Para el Fósforo se obtuvo un total de 0.78 Ton/Año (Cuadro 26 y Gráfico 2) y para el Nitrógeno un total de 11.16 Ton/Año (Cuadro 26 y Gráfico 2), lo que corresponde a 6.53% y 93.47% (Gráfico 3) respectivamente del total de carga de nutrientes por precipitación.

Claramente se nota que el N supera al P en gran cantidad. Es de suponer que el aporte de Nitrógeno en la precipitación es mucho mayor que el Fósforo debido a la abundancia de este en la Atmósfera y su gran movilidad.

Mientras que el N es parte mayoritaria de la atmósfera y puede asociarse en gran cantidad con el agua precipitada por la atmósfera y tiene un ciclo más dinámico, el P se encuentra en mucha menor cantidad disponible para ser mezclado con el agua proveniente de la precipitación y su ciclo es menos dinámico y tiene mayor relación con procesos geológicos.

Las rocas de la cuenca de drenaje constituye la fuente básica de fosfato para los ecosistemas acuáticos continentales, mientras que el N tiene su origen en la precipitación, material orgánico e inorgánico de origen alóctono y la fijación del nitrógeno molecular dentro de la propia fuente de agua.

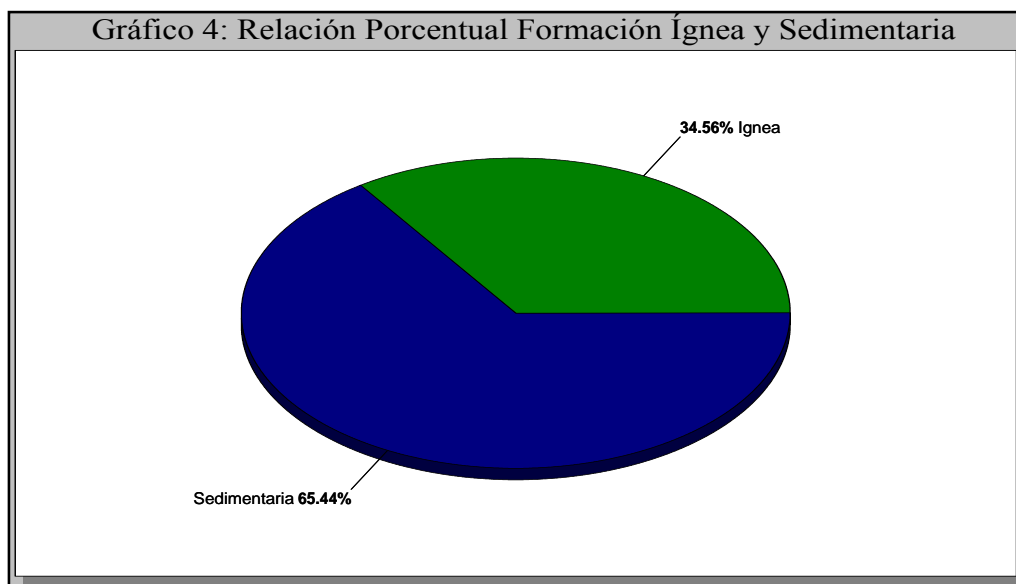
Cabe destacar que la cuenca es algo grande (Cuadro 47) y que a su vez se encuentra dentro de una zona de transición entre un tipo de ecosistema de gran precipitación hacia otro de modestas precipitaciones (Mapa 1, Anexo 1), existiendo rangos de 2,400 mm anuales en la parte alta a 1,400 mm anuales en la parte baja, lo cual da una diferencia de 1,000 mm, por lo que también existen diferencias apreciables entre un sector y otro del Río en cuanto a la cantidad de Nutrientes que son captados.

Esto también es posible gracias a la gran longitud (Cuadro 37) que tiene el cuerpo de agua en estudio, dado que se trata de un Río que a su vez cuenta con mucha precipitación promedio anual (Mapa 1, Anexo 1) y cuya anchura promedio es considerable (Cuadro 37).

Esto implica que el aporte de nutrientes provenientes de la precipitación es excepcionalmente alto en la cuenca, pues estamos hablando de altísimas cantidades de agua en forma de lluvia y que caen directamente en el cuerpo de agua.

Hay que hacer notar que el cuerpo de agua si bien es extenso, es pequeño (Cuadro 37 y Cuadro 47) en comparación con la cuenca que drena hacia este.

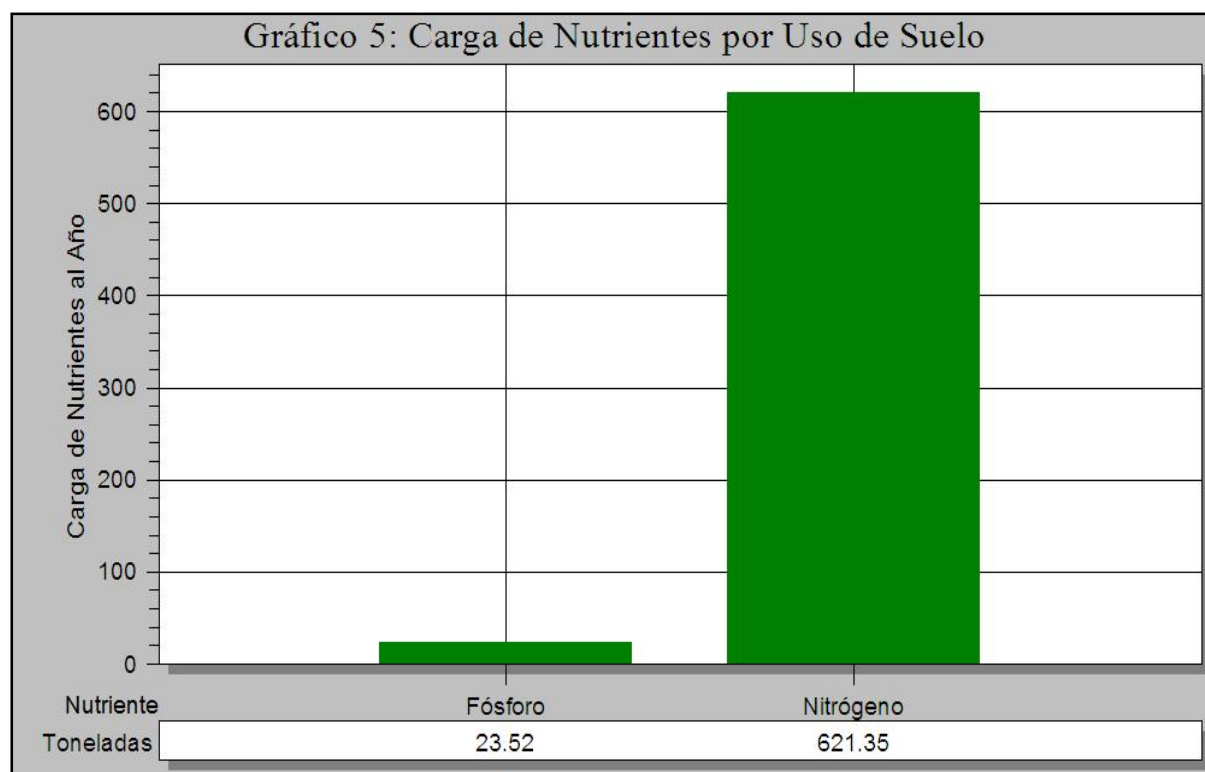
7.2 Carga de Nutrientes Provenientes del Suelo

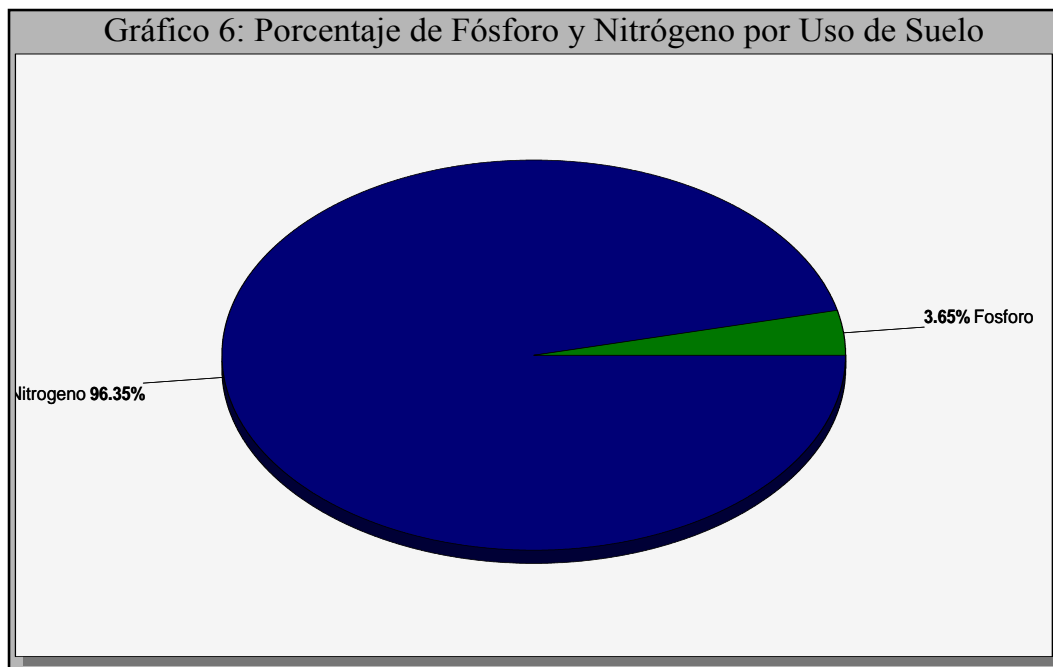


Cuadro 27: Área de la Cuenca y Aporte de Nutrientes Según el Uso de Suelo Establecido en el Método

Uso	Área		Aporte			
	m ²	%	Ton/Año P	%	Ton/Año N	%
Ninguno	1,070,920	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Labranza	49,873,820	3.74	0.80	3.40	31.24	5.03
Escurrecimiento en Bosque	81,207,420	6.09	0.74	3.15	23.45	3.77
Bosque + Pastura	889,163,360	66.64	16.76	71.26	473.06	76.13
Pastura	313,038,100	23.46	5.22	22.19	93.60	15.06
Total	1,334,353,620	100.00	23.52	100.00	621.35	100.00

Cuadro 28: Carga de Nutrientes Estimada por Uso de Suelo		
Nutriente	Estimado (Ton/Año)	%
Fósforo	23.52	3.65
Nitrógeno	621.35	96.35
Total	644.87	100.00





La cuenca del Río Tepenaguasapa cuenta con 873,124,440 m² de formaciones geológicas de origen sedimentario (Cuadro 43), en cambio 461,229,180 m² (Cuadro 43) corresponden a formaciones de origen ígneo, lo que se traduce en 65.44% y 34.56% (Gráfico 4) respectivamente del total del área en estudio.

El método establece diferencias en cuanto al aporte tanto de Fósforo y Nitrógeno (Cuadro 23) de acuerdo al origen ya sea sedimentario o ígneo (Mapa 3, Anexo 1 y Cuadro 36). Esto trasciende cuando hablamos de una cuenca mayormente sedimentaria, lo que representa que hay mayor aporte debido a esta condición y que las actividades mayoritarias son de tipo bosque + pastura por la alta actividad ganadera.

Las mayores áreas establecidas en el método para el caso de la cuenca en estudio corresponden a como se puede ver en el Cuadro 27 a los bosques + pastura con 66.64 %, seguido por las pasturas con 23.46 %, cifras que juntas totalizan el 90.1% del total de escurrimiento del suelo, en importancia le sigue el escurrimiento en bosque con 6.09 % y después la labranza con 3.74%.

Siempre dentro del cuadro 27, la mayor fuente de Fósforo corresponde al bosque + pastura con 16.76 Ton/Año (71.26%), seguida por la pastura con 5.22 Ton/Año (22.19%). Para el caso del Nitrógeno igualmente la mayor fuente en el suelo fue el bosque + pastura con 473.06 Ton/Año (76.13%) y la pastura con 93.6 Ton/Año (15.06%).

Hay una correspondencia con la gran área empleada en la cuenca para el uso de bosque + pastura y pastura y el aporte que este uso tiene para el uso de suelo, que dentro del método le es asignado más valor cuando se trata de fuente sedimentaria que ígnea.

El uso de suelo que presenta la cuenca está caracterizado por una gran cantidad de área dedicada a la maleza y pasto con árboles, tacotal y pasto con maleza, que en el método aplicado viene siendo el bosque + pastura y la pastura, lo que representa una fuerte intervención y que se vincula con el desarrollo de la ganadería extensiva aplicada prácticamente en toda la cuenca.

En la zona existe un gran aporte, tanto para el Nitrógeno como para el Fósforo, ya que de acuerdo al método, el bosque + pastura y la pastura están en el rango medio de asignación de valores, además, aporta tanto por la fuente sedimentaria e ígnea y que los usos antes mencionados representan la mayor proporción de área de la cuenca con 889,163,360 m² (66.64%).

En la zona de escurrimiento en bosque, la cantidad de Fósforo y Nitrógeno aportados son las menores con 24.20 Ton/Año (3.68%). Es importante mencionar que esta área representa a una de las menores áreas dentro del uso de suelo con 81,207,420 m² (6.09%) y sin embargo, de acuerdo al método, son las que propician un menor aporte de nutrientes para el Río Tepenaguasapa y su cuenca. Aquí se puede notar como se encuentra degradado el gran ecosistema boscoso que fue una vez esta zona y que ahora es empleada en su mayoría como zona de pastos para la ganadería extensiva. Esto adquiere mayor relevancia, debido a que a mayor área ocupada por zonas boscosas, menor será el aporte de nutrientes que provienen del uso de suelo de la cuenca, debido a la protección que le ofrecen al suelo para que permanezca sin ser degradado de forma rápida y transportado hacia el cuerpo de agua.

El porcentaje faltante del total de la cuenca corresponde al 0.08%, que son las aguas naturales, pero como estamos hablando del uso de suelo, este porcentaje no aplica para el modelo que estamos empleando por tratarse de área ocupada por agua.

Si bien, en el método los mayores valores asignados están para las áreas de cultivo y pastos manejados, el uso de suelo se enfoca en menor cantidad en estos estratos con 362,911,920 m² (27.2 %) del total del área de la cuenca, a esto se debe sumar que para el Fósforo en estas variables no aplican las formaciones sedimentarias y para el Nitrógeno no aplican las formaciones ígneas.

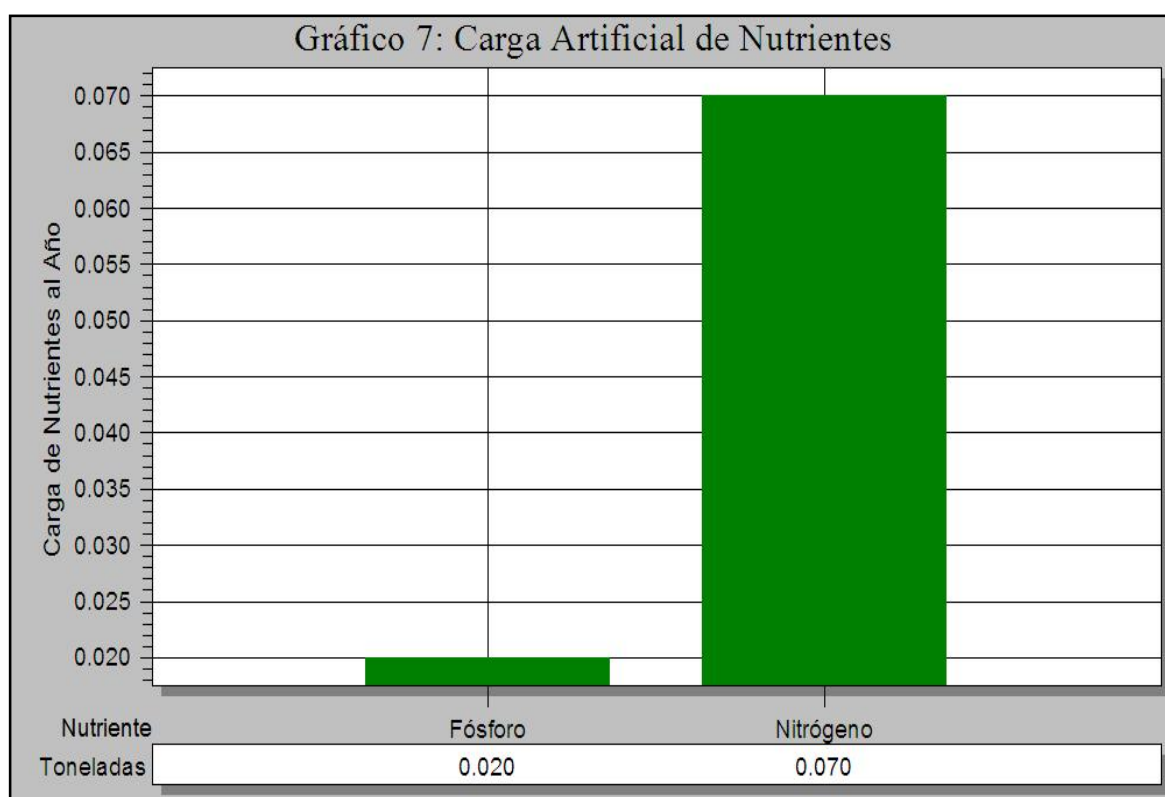
El aporte del escurrimiento de Fósforo y Nitrógeno del suelo en la cuenca de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa fue estimado en 644.87 Ton/Año (Cuadro 28), siendo que para el Fósforo es un total de 23.52 Ton/Año y para el Nitrógeno 621.35 Ton/Año (Cuadro 28 con Gráficos 5 y 6), lo cual en porcentaje se expresa en 3.65 y 96.35 (Cuadro 28 con Gráficos 5 y 6) respectivamente.

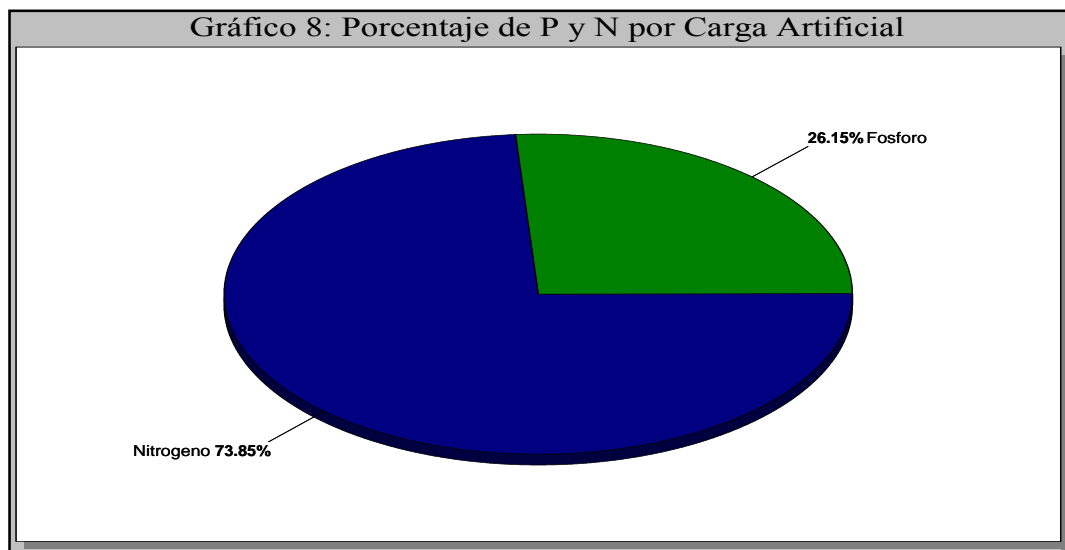
La poca población que hay dentro de la cuenca con una densidad de 14.61 Hab/Km² (Cuadro 47) conjugado con la alta degradación del bosque (Mapa 2, Anexo1) y del ambiente en general, evidencia que existe poca planificación para realizar las actividades que contribuyan a un mejor desarrollo, como por ejemplo la ejecución de proyectos ecoturísticos y manejos forestales en vez de la ganadería extensiva generalizada.

La degradación ambiental que está teniendo el sistema natural de la cuenca, es alta si tomamos en cuenta la poca población que reside en esta, por ello, el uso de suelo juega un papel fundamental para el destino que tenga el estado del cuerpo de agua en investigación y por ende del aporte de nutrientes que este tenga hacia el Lago Cocibolca, fuente de agua de vital importancia para el futuro cercano de toda Nicaragua.

7.3 Carga de Nutrientes Provenientes de Fuentes Artificiales

Cuadro 29: Carga Estimada de Nutrientes por Fuente Artificial		
Nutriente	Estimado (Ton/Año)	%
Fósforo	0.02	26.15
Nitrógeno	0.07	73.85
Total	0.09	100.00





El aporte de Fósforo y Nitrógeno proveniente directamente de la población o fuente artificial de la cuenca del Río Tepenaguasapa fue estimado a como se presenta en el Cuadro 29 y Gráfico 7 en 0.09 Ton/Año, siendo que para el Fósforo es un total de 0.02 Ton/Año y para el Nitrógeno 0.07 Ton/Año, lo que corresponde a 26.15 % y 73.85% (Cuadro 29 y Gráfico 8) respectivamente del total de carga de nutrientes por fuente artificial.

Con estos datos, haciendo las consideraciones para la población, la Razón de Crecimiento (R) calculada de los municipios (Cuadro 45), coincide con la aportada por la bibliografía, a excepción del municipio de Nueva Guinea, ya que el cálculo realizado muestra una disminución en vez de un aumento de R, causado por la disminución de la población entre los censos poblacionales de 1995 y 2005, por lo que se tomó el dato de la bibliografía (Ver Cuadro 47) presentado por INIDE (Instituto Nicaragüense de Desarrollo).

En el Cuadro 47 se muestra que el municipio con menor cantidad de área dentro de la cuenca es Nueva Guinea y por un gran margen, pues apenas cuenta con 565.168 Ha, en comparación con las casi 25,000 Ha con que cuenta el siguiente municipio. Sin embargo este es el municipio más poblado de los cuatro investigados y por lo tanto el de mayor densidad poblacional, seguido de cerca por San Miguelito, aunque este es después de Nueva Guinea el de menos área presente en la cuenca.

Es importante resaltar que la población de los municipios bajo el estudio mayoritariamente se encuentra en la zona rural, siendo el casco urbano principal la cabecera municipal. Por ello, la mayor cantidad de población de la cuenca se encuentra dentro de la zona rural, a esto se debe agregar que de las cuatro cabeceras municipales, solo la de El Almendro está en el sector de la cuenca, por ello la población de la cuenca del Río Tepenaguasapa es evidentemente rural.

La población que habita la cuenca no cuenta con sistemas de tratamiento apropiados para las aguas residuales y excretas, teniendo principalmente letrinas e incluso por las cifras aportadas por la bibliografía se debe considerar que se practica el fecalismo al aire libre, con lo que aumentan las posibilidades de contaminación de la cuenca del río y el aporte de nutrientes.

El aporte artificial de Nitrógeno y Fósforo es relativamente poco en comparación con el tamaño de la cuenca y de los otros aportes considerados dentro del método desarrollado, sin embargo se debe tomar en consideración que el Río Tepenaguasapa es un cuerpo de agua de pocas dimensiones en comparación a su cuenca, aunque es de características lólicas, por lo que al final estos aportes llegarán al Lago Cocibolca, cuerpo de agua léntico y con una sola salida por medio del Río San Juan.

Agregamos que la densidad poblacional de la cuenca es baja, de 14.61 Hab/Km² (Cuadro 47), lo que implica poco aporte de Nitrógeno y Fósforo por esta fuente, sin embargo esta cantidad podría disminuir si se toman medidas de saneamiento rural.

7.4 Carga Total de Fósforo y Nitrógeno (Carga total de Nutrientes) Escurrida Hacia el Río Tepenaguasapa.

Cuadro 30: Carga Total de Fósforo y Nitrógeno Proveniente del Drenaje Superficial de la Cuenca del Río Tepenaguasapa

CARGAS	FÓSFORO Ton/Año	PORCENTAJE P			NITRÓGENO Ton/Año	PORCENTAJE N			CARGA TOTAL Ton/ Año	% CARGA TOTAL
		P/P	P/N	TOTAL		N/N	P/N	TOTAL		
Precipitación Atmosférica.	0.781	3.21	6.54	0.12	11.156	1.76	93.46	1.70	11.94	1.82
Procedentes del suelo.	23.52	96.69	3.65	3.58	621.35	98.23	96.35	94.59	644.87	98.17
Artificiales	0.02	0.10	26.15	0.004	0.07	0.01	73.85	0.01	0.09	0.01
Gran Total	24.33	100.00		3.70	632.57	100.00		96.30	656.89	100.00

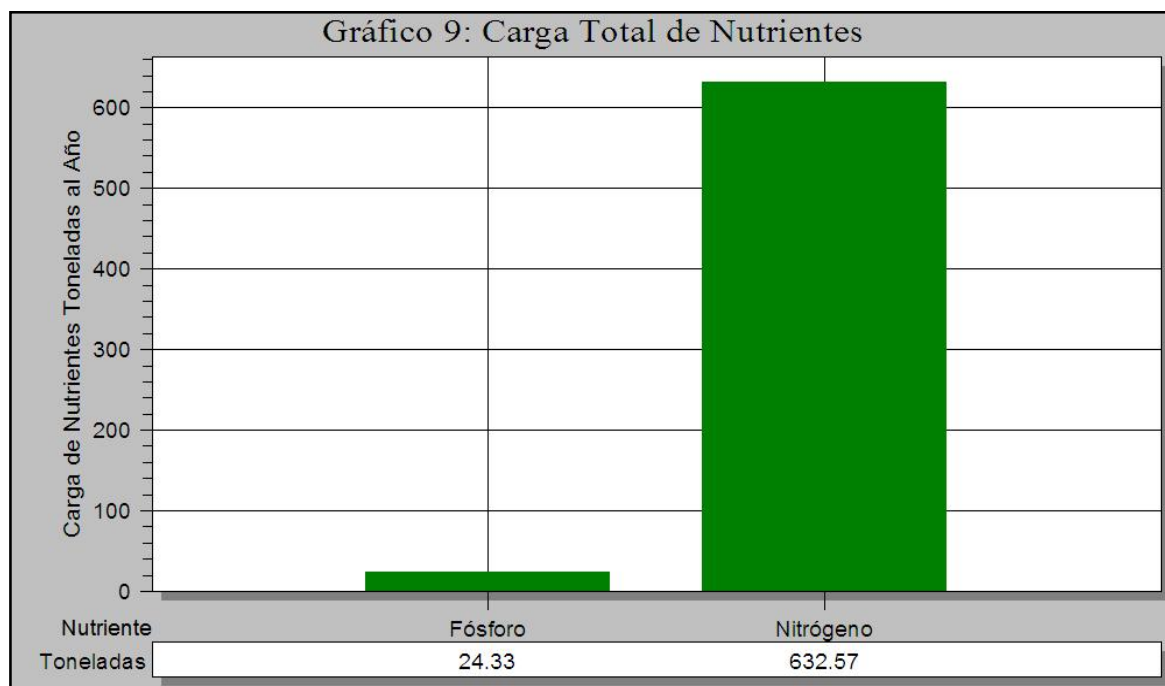


Gráfico 10: Porcentaje del Total de Fósforo y Nitrógeno

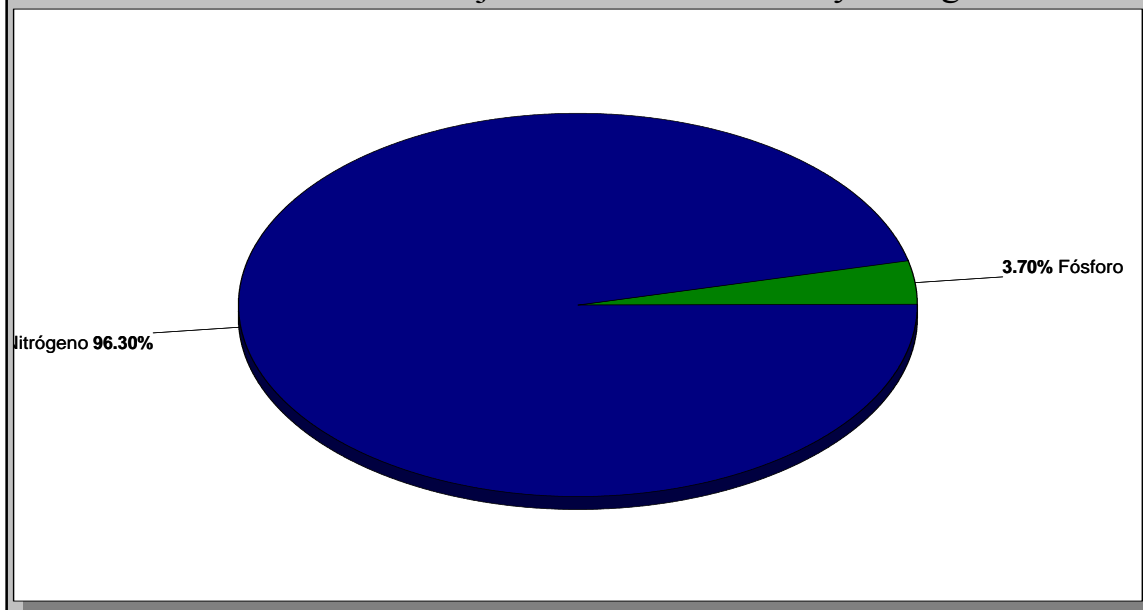
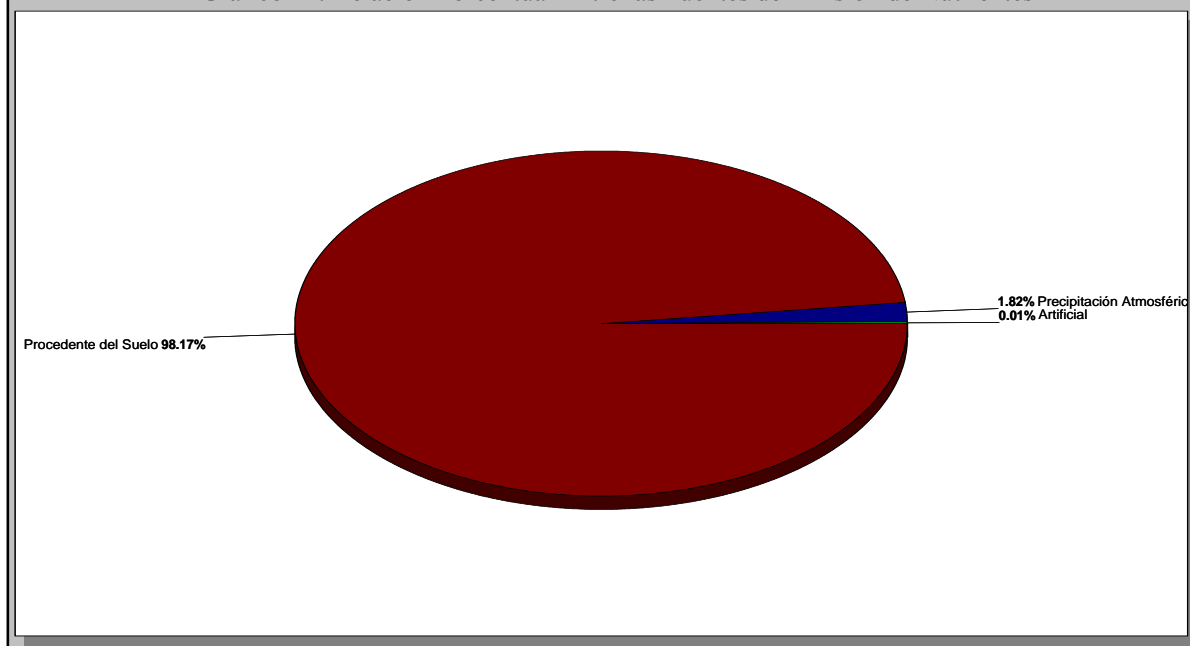


Gráfico 11: Relación Porcentual Entre las Fuentes de Emisión de Nutrientes



En el Cuadro 30 se muestra el total de Fósforo y Nitrógeno que es vertido en el Río Tepenaguasapa, que resultó en 656.89 Ton/Año. Siendo 24.33 Ton/Año para el Fósforo y 632.57 Ton/Año para Nitrógeno. El porcentaje que representan estas cantidades es de 3.70 y 96.30 respectivamente (Gráfico10).

En la relación del aporte de acuerdo a la fuente según el nutriente (Cuadro 30), la mayor cantidad de fósforo resultó del aporte del suelo con 23.52 Ton/Año (96.69%), seguido por la precipitación con 0.78 Ton/Año (3.20%) y por último la fuente artificial con 0.02 Ton/Año, que representa el 0.1 %. El Nitrógeno resultó en 621.35 Ton/Año para el suelo (98.23%), seguido por el aporte de la precipitación con 11.15 Ton/Año (1.76%) y para la fuente artificial el Nitrógeno resultó en 0.07 Ton/Año para el 0.01%.

La relación Fósforo y Nitrógeno por fuente, resultó en 6.54% para el Fósforo y 93.46% para el Nitrógeno en lo referido a la exportación por precipitación. Para el caso de la exportación por uso de suelo, el Fósforo resultó en 3.65% y para el Nitrógeno en 96.35%. Finalmente, para la exportación por fuente artificial el Fósforo resultó en 26.15% y el Nitrógeno en 73.85%.

Con relación al total, la fuente y nutrientes más representativos y muy por encima de las demás, resultó ser el Nitrógeno procedente del suelo con 621.35 Ton/Año, que significa el 94.59%. En cuanto al Fósforo, igualmente la fuente de mayor emisión es el uso de suelo con 23.52 Ton/Año, con un 3.58% con respecto al gran total.

En cuanto a cual es la fuente más representativa con respecto a la carga total (Cuadro 30 y Gráfico 11), se trata de la procedente del suelo con 644.87 Ton/Año (98.17%), seguida por la precipitación atmosférica con 11.94 Ton/Año (1.82%) y por último se encuentra la fuente artificial con 0.09 Ton/Año (0.01%).

Con todos estos datos presentados, está claro que la fuente que mayor aporta al escurrimiento de Fósforo y Nitrógeno en la cuenca del Río Tepenaguasapa es el uso de suelo.

Cabe destacar que dentro de esta variable, el aporte proveniente de la combinación de escurrimiento en pastura y bosque mas pastura son las más representativas, con un 90.1%

(Cuadro 27), lo cual podemos vincularlo con el alto grado de intervención que tiene la zona por las diversas actividades humanas, sobre todo la ganadería extensiva que se desarrolla en la cuenca.

Esto también se puede ver dentro del mapa de formaciones forestales (Mapa 4, Anexo 1), donde la mayoría de la cuenca se encuentra ocupada por pastizales y una parte reducida por bosque latifoliado abierto y menos de una unidad porcentual para el bosque latifoliado cerrado.

En cambio con lo anterior, las demás fuentes, tanto artificial como por precipitación, son insignificantes, esto es debido a que el uso de suelo de la cuenca está marcadamente dirigido hacia un arrastre y pérdida del suelo con la consecuente pérdida de nutrientes, debido al uso elevado de este con la actividad ganadera extensiva.

Por otro lado, la precipitación en la cuenca del Río Tepenaguasapa, es muy alta, por lo que relativamente hay un buen aporte de nutrientes por esta vía, aunque el espejo de agua es de dimensiones modestas.

El Río Tepenaguasapa es el mayor aportante de nutrientes de la parte noreste de la cuenca del Lago Cocibolca, por ser este uno de los mayores afluentes de ese sector, por lo que es meritorio que el gobierno central efectuó un proceso de intervención para disminuir estos aportes y de esa manera conservar la fuente de agua de mayor importancia en el futuro inmediato de Nicaragua.

Los incendios forestales y puntos de calor detectados (Mapa 5, Anexo 1) son merecedores de atención, puesto que se trata de un factor que no se encuentra incorporado dentro del modelo aplicado y que en Nicaragua es una variable que debe ser tomada en cuenta, ya que estos provocan la pérdida de biomasa, principalmente vegetal y la desnudez del suelo, que facilita a su vez el arrastre de los nutrientes por efecto del clima ya sea por medio del viento o por la precipitación. Además, por que la cuenca está dominada por amplias zonas con pastizales, que tienden a quemarse durante la época seca del país.

Resulta que también las cenizas generadas por los incendios llevan en ellas Fósforo y Nitrógeno que en su momento constituyeron parte de la masa vegetal y animal, las que posteriormente son transportadas, en este caso hacia la cuenca y las fuentes de agua.

7.5 Estimación del Estado Trófico del Ecosistema

Cuadro 31: Muestreo de Fósforo y Nitrógeno Obtenido de la Bibliografía						
Estación	Fecha	Río	Coordenadas		P (mg/L)	N (mg/L)
Estación En Puente	17/11/2006	Tepenaguasapa	11°32'52.00"N	84°51'34.00"W	0.15	1.12
	27/09/2006				0.16	0.37
	31/01/2007				0.21	0.46
	22/04/2007				1.314	0.56
	18/06/2007				2.1	0.56

Fuente Bibliográfica: CIEMA, Proyecto Twin Latin

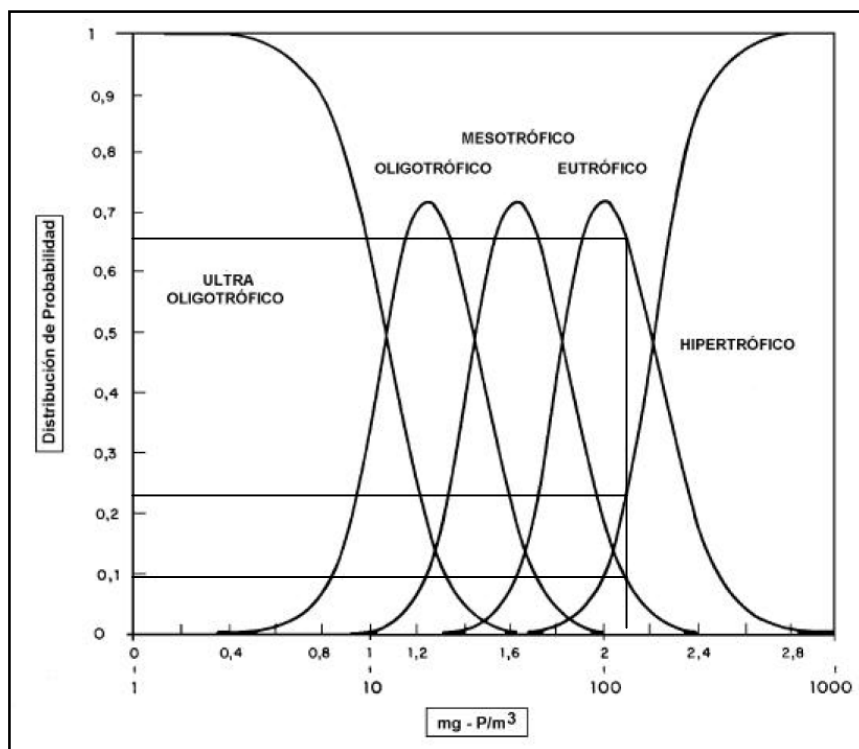
Tomando en consideración lo aportado por la bibliografía, las concentraciones de Fósforo según el cuadro 31, entre 2,006 y 2,007 oscilaron entre 0.15 mg/ L a 2.1 mg/ L, lo que representa entre 150 mg/M³ a 2,100 mg/M³, esto implica que las muestras de agua del Río Tepenaguasapa, tomadas de la estación en el puente al cotejarlas con el nomograma resultan en un rango de tipo eutrófico con un 70 % de probabilidad hasta el 100 % de probabilidad para considerarlo como un cuerpo de agua en estado Hipertrófico.

La concentración de los nutrientes, se encuentran en relación y concordancia con las actividades económicas que se llevan a cabo dentro de la cuenca de drenaje superficial (uso de suelo), siendo para la parte media procesos urbanos por quedar el punto medio de muestreo dentro del casco urbano de municipio de El Almendro y la ganadería extensiva y agricultura y una fuerte actividad de monocultivo y ganadería extensiva en la parte baja y en la parte alta gran actividad de ganadería extensiva y cultivos de subsistencia. En general la vegetación de la cuenca está muy intervenida.

Cuadro 32: Estado Trófico Reportado en los Puntos de Muestreo de la Bibliografía, Según los Mínimos y Máximos

%	Estado	Cantidad (mg/m ³)
70	Eutrófico	150
12	Mesotrófico	
18	Hipertrófico	
100	Hipertrófico	2,100

Gráfico 12. Distribución de Probabilidad del Estado Trófico Fuente Bibliográfica



En este punto de muestreo, se revela un comportamiento u oscilación de eutrófico (150 mg/M³) a hipertrófico (2,100 mg/M³), incluso el dato se llega a salir de la escala. Dentro del cuadro 30, se observa que las muestras fueron tomadas durante un periodo de tiempo de 2006 a 2007, en distintas épocas del año, lo cual pudo haber influido para la diferencias de los resultados, ya que se espera que las variables oscilen en un amplio rango por la condición léntica del cuerpo de agua.

Cuadro 33: Información de los puntos de muestreo

Sector	Fecha	Muestra	Hora	Coordenadas	m.s.n.m.	Anchura	Tº
Alta	12/09/2008	1	11.16 a.m.	11 ⁰ 47' 18.81'' N 84 ⁰ 36' 08.64'' O	204	8 m	23
			11.18 a.m.				
		2	11.22 a.m.				
			11.23 a.m.				
		3	11.16 a.m.				
			11.17 a.m.				
Medio		4	8.34 a.m.	11 ⁰ 40' 33.15'' N 84 ⁰ 42' 14.10'' O	178	60 m	25
			8.35 a.m.				
		5	8.43 a.m.				
			8.44 a.m.				
		6	8.59 a.m.				
			9.00 a.m.				
Baja	7	3.25 p.m.	11 ⁰ 30' 14.25'' N 84 ⁰ 56' 11.06'' O	50	120 m	27	
		3.26 p.m.					
	8	3.34 p.m.					
		3.37 p.m.					
	9	3.29 p.m.					
		3.33 p.m.					

En el Cuadro 34 se refleja que para la parte alta del Río el valor obtenido en los análisis de laboratorio practicado por el Laboratorio de Aguas Residuales del CIEMA – UNI se obtuvo en la parte alta 117.67 mg/M³, para la parte media 108.33 mg/M³ y para la parte baja 173.33 mg/M³.

En el mismo cuadro 33, las tres relaciones P:N no llegan a sobrepasar el límite establecido por el Modelo Simplificado para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales que es de 1:9, por lo que se espera que potencialmente el nutriente limitante dentro del ecosistema acuático del Río Tepenaguasapa sea el Nitrógeno. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el Fósforo

tiene una alta concentración, hasta el punto de que el Río Tepenaguasapa sea un ecosistema con características eutróficas y por lo tanto el Nitrógeno también se encuentra con altas concentraciones, debido a la relación que hay, se encuentran en altas concentraciones.

Haciendo alusión al mismo cuadro 33, los resultados para la parte alta y media para el caso del Fósforo son casi idénticos, lo cual se interpreta como que la concentración de Fósforo es similar en ambos puntos, incluso es ligeramente mayor en la parte alta. Cabe hacer mención que en este tipo de estudios se hace necesario realizar una mayor cantidad de muestreos para mejorar la certeza de los datos. En el caso del presente estudio por motivos económicos solo se lograron tomar un total de nueve muestras, tres por cada punto de muestreo.

Cuadro 34: Resultados de Muestras Extraídas en la Visita al Río

Cuenca	Punto	Fósforo (mg/L)	Nitrógeno (mg/L)	Promedio		Fosforo (mg/M ³)	Nitrógeno (mg/M ³)	Relación P:N
				Fosforo	Nitrógeno			
Alta	1	0.127	0.460	0.118	0.484	117.667	484.000	1:4.11
	2	0.155	0.336					
	3	0.071	0.656					
Media	1	0.127	0.100	0.108	0.220	108.333	220.000	1:2.03
	2	0.071	0.460					
	3	0.127	0.100					
Baja	1	0.210	0.656	0.173	0.457	173.333	457.333	1:2.64
	2	0.127	0.346					
	3	0.183	0.370					

Fuente Resultados de Concentración de N y P : Laboratorio de Análisis de Aguas Residuales CIEMA – UNI

Gráfico 13. Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Alta Río Tepenaguasapa

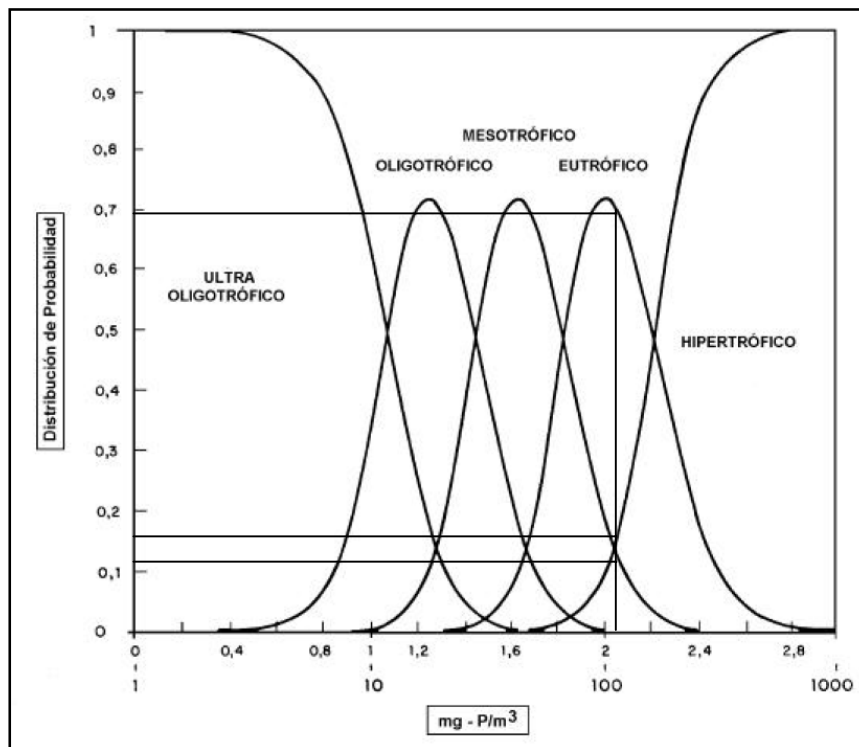


Gráfico 14. Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Media Río Tepenaguasapa

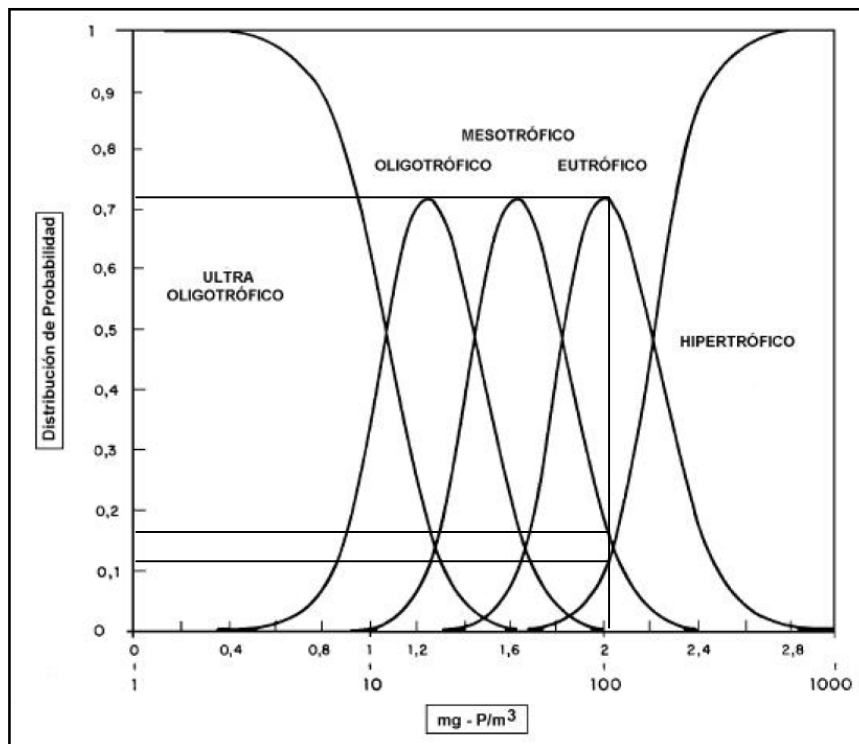
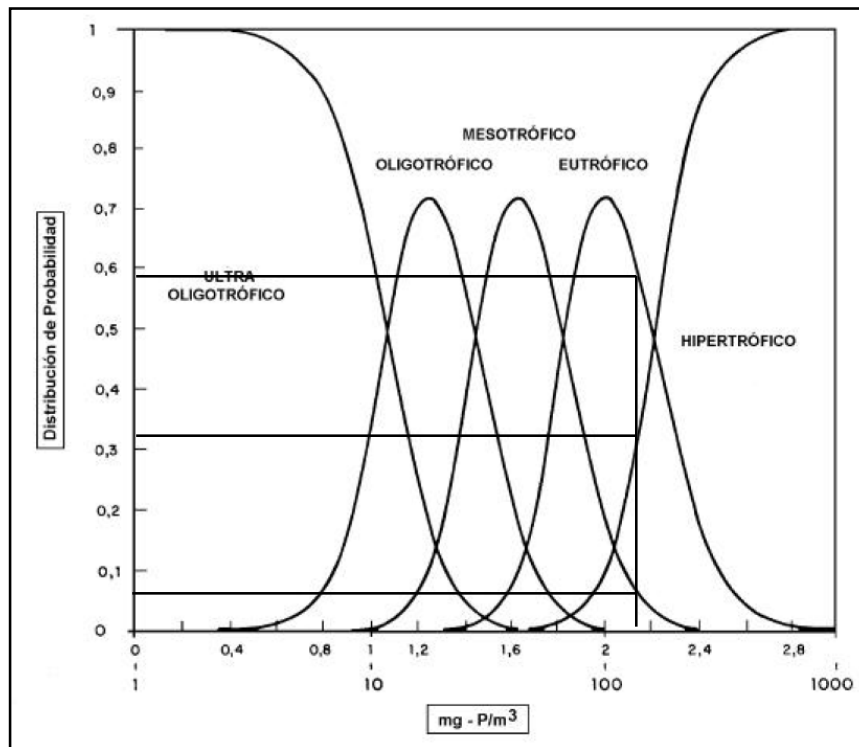


Gráfico 15. Distribución de Probabilidad Estado Trófico Parte Baja Río Tepenaguasapa



Cuadro 35: Estado Trófico Reportado en las Muestras Tomadas en la Visita		
Parte de Cuenca	%	Estado
Alta	70	Eutrófico
	17	Hipertrófico
	13	Mesotrófico
Media	72	Eutrófico
	16	Mesotrófico
	12	Hipertrófico
Baja	58	Eutrófico
	34	Hipertrófico
	8	Mesotrófico

En los Gráficos 13; 14 y 15, se observa la distribución de probabilidad para los puntos de muestreo de la parte alta, media y baja respectivamente y que se condensan en el Cuadro 35. El resultado obtenido es de un estado mayormente eutrófico (70%) para el punto de muestreo ubicado en la parte alta de la cuenca, para luego tener un 17% de probabilidad de Hipertrófico y 13% de probabilidad para mesotrófico.

En la parte media, el comportamiento es similar, con 72% de probabilidad de eutrófico, 16% para mesotrófico y 12% para hipertrófico.

Finalmente en la parte baja la probabilidad de eutrófico disminuye hasta 58%, sin embargo la probabilidad de hipertrófico aumenta hasta el 34% y la probabilidad de mesotrófico cae hasta un 8%.

Esto evidencia un comportamiento longitudinal de la carga de nutrientes durante el trayecto del cuerpo de agua. Entre más se aproxima el curso de agua hacia su desembocadura, existe una mayor concentración de nutrientes.

No se debe pasar por alto que se está estudiando un cuerpo de agua lótico, lo que implica que se pueden dar cambios en las características del agua de una manera más fácil que en un cuerpo de agua léntico, pues el agua circula de forma más rápida y puede arrastrar bastante material, sobre todo en las crecidas, las que ocurren durante el período lluvioso y este transporte de material aumenta con el uso de suelo característico de la cuenca.

Las concentraciones de Fósforo Total encontradas en el período 2006 – 2007, están en estrecha relación con las concentraciones encontradas en las muestras de agua recolectadas durante la visita de campo, las que pueden ser vistas en los Cuadros 31 y 33. Esto se debe a que los rangos coinciden en su mayoría, ya que los datos de la bibliografía abarcan al rango mostrado en los datos obtenidos por el muestreo realizado en la visita de campo, aunque existen rangos que sobrepasan la escala planteada en el método.

En cuanto a los resultados obtenidos del muestreo realizado en la visita al Río y su cuenca, este desde el inicio de su curso tiene connotación eutrófica de forma mayoritaria. Es importante mencionar que desde las cercanías de su nacimiento existe una gran actividad ganadera extensiva y poca vegetación. Siguiendo el curso aguas abajo, en la parte media de muestreo, las concentraciones son similares. Al final, en el muestreo realizado en la parte baja se da un aumento de probabilidad del estado hipertrófico, aunque la condición sigue siendo mayoritariamente eutrófica. Esto es provocado seguramente por el arrastre de los nutrientes de la cuenca por el uso que se le da al suelo principalmente. Está claro que el comportamiento del estado es variable por tratarse de un cuerpo de agua de larga extensión y lótico que arrastra muchos nutrientes a lo largo de la cuenca.

El estado trófico del Río Tepenaguasapa reflejado tanto en la bibliografía como en los resultados de muestreos realizados, presenta la falta de manejo de la cuenca, provocando el deterioro del ecosistema, como resultado de la escasa planificación de las actividades económicas y el asentamiento humano, lo que ha derivado en una expansiva ganadería extensiva, áreas dedicadas al monocultivo del arroz, así como la falta de tratamiento de las aguas residuales industriales y domésticas, factores que se evidencian en un proceso acelerado de la pérdida del bosque, deficientes prácticas de cultivo y un pobre saneamiento básico.

Otro parámetro para valorar el estado trófico del ecosistema del Río Tepenaguasapa son los seres vivos, que pueden ser empleados como bioindicadores. Resulta que en el río se ha reportado que la Familia Tubificidae dominó en el río Tepenaguasapa en el mes de enero del año 2001. Esta Familia es reportada en aguas severamente contaminadas y muy eutrofizadas. Tomando en cuenta que esto fue en el año 2001 y que las condiciones vistas en los mapas de una gran actividad ganadera extensiva y agrícola, que ha aumentado desde ese período, se infiere que no solo las condiciones se han mantenido, sino que han empeorado.

En trabajo sobre diagnóstico de la calidad del agua de los tributarios que drenan al lago Cocibolca, específicamente para el Río Tepenaguasapa, se reporta que existe una dominancia de las cianophytas, seguidas por la Euglenophytas, lo que denota un deterioro en la calidad del agua. Fogg (1973) sugiere que la abundancia de Cyanophytas puede ser debido al efecto de altas cantidades de materia orgánica en el agua, también es sabido que son abundantes cuando aumenta la eutrofización. Esto implica que estos grupos de seres vivos dominan en condiciones de altas cantidades de materia orgánica en el agua, lo que se asocia con la eutrofización

De este modo, se puede hablar de un efecto biológico de la carga de nutrientes, pues se modifica la estructura de los componentes de la base de la pirámide alimenticia, tal como lo es el fitoplancton.

VIII. CONCLUSIONES

1. Las estimaciones totales de Fósforo y Nitrógeno provenientes de la cuenca de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa manifiestan que el 1.82 % de los nutrientes provienen de la precipitación atmosférica, 98.17% se originan de lo aportado por el uso del suelo y 0.01% de las cargas artificiales, con lo que claramente se nota que existe un impacto mayor de lo proveniente del uso de suelo con casi la totalidad de los nutrientes, seguido por el aporte de la precipitación y por último de la carga artificial.
2. La carga estimada de nutrientes provenientes de la precipitación es de 11.94 Ton/Año, siendo para el P de 0.781 Ton/Año y para el N de 11.156 Ton/Año, lo que se explica por el área de espejo de agua que es reducida, la gran cantidad de precipitación que en promedio existe dentro de la cuenca y que la cantidad de Nitrógeno es mucho mayor que la del Fósforo por la mayor abundancia de este en la atmósfera terrestre.
3. Los aportes de nutrientes presentados por el uso de suelo de acuerdo al origen de la formación geológica son los mayores, con un total de 644.87 Ton/Año, representando casi la totalidad de los nutrientes de las tres fuentes. Esto es originado por ser una zona muy intervenida por la gran cantidad de área empleada para pasto, tierras de labranza y por que se trata de una cuenca de buen tamaño.
4. Las cargas artificiales de los nutrientes estudiados fueron estimadas en 0,02 Ton/Año para el fósforo y 0,07 Ton/Año para el Nitrógeno, con lo que se demuestra que el aporte artificial es poco significativo (0,09 Ton/Año) en relación a los aportes de uso de suelo y por precipitación, debido a lo poco poblada que se encuentra la cuenca con 14.61 Hab/Km² y a pesar de no contar con el manejo adecuado de las excretas y las aguas residuales.

5. El Río Tepenaguasapa guarda un gradiente de condición trófica, expresado en mg/M^3 , que se caracteriza por probabilidad mayormente eutrófica cerca del nacimiento del ecosistema hasta un estado que a pesar de ser siempre eutrófico, aumenta la probabilidad de ser hipertrófico en las cercanías de su desembocadura en el lago Cocibolca, como resultado de las características ambientales degradadas, reflejadas en la escasa cobertura vegetal, bioindicadores, actividades económicas (Ganadería extensiva, monocultivo de arroz y producción láctea) y el asentamiento humano (Carencia de sistemas de tratamiento a las aguas residuales y las excretas), que se suma a la alta precipitación, lo que deriva en un sustancial transporte de nutrientes, principalmente Fósforo y Nitrógeno.
6. Los aportes de nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) al ecosistema acuático están comprometiendo los usos futuros de las aguas del mismo.
7. La concentración de nutrientes encontrados en las aguas del ecosistema y el estado trófico del mismo guardan una estrecha relación con la predominancia de los principales grupos fitoplanctónicos encontrados en trabajos precedentes, tales como del grupo cianophytas.
8. La carga de nutrientes de la cuenca de drenaje superficial del Río Tepenaguasapa es significativamente alta debido al estado eutrófico con tendencia a hipertrófico mostrado en sus aguas.
9. Uno de los factores que esta aumentando las cargas de nutrientes hacia el ecosistema son los incendios forestales, debido a que en Nicaragua esto es una práctica común (No es una variable incorporada en el método aplicado), que provoca la pérdida de biomasa, principalmente vegetal y la desnudez del suelo, que facilita a su vez el arrastre de los nutrientes por efecto del viento y/o precipitación. Además, por que la cuenca está dominada por amplias zonas con pastizales, que tienden a quemarse durante la época seca y que las propias cenizas pueden aportar el P y N de forma más rápida.
10. Los métodos empleados son aplicables para el tema estudiado, lo que permite que estas herramientas sean utilizadas en trabajos similares.

IX. RECOMENDACIONES

1. Enfocar esfuerzos hacia el empleo de mejoras en las técnicas para el desarrollo de la actividad ganadera extensiva y que esta se transforme gradualmente en ganadería de establo.
2. Establecer un Plan de reforestación enfocado a recuperar áreas priorizadas que han perdido su cubierta vegetal y que aportan gran cantidad de nutrientes al ecosistema.
3. La población en los municipios es en su gran mayoría rural, por lo que se deben formular sistemas de tratamiento que disminuyan la emisión de fuentes contaminantes aportadas de forma artificial y que sean adecuadas a dicho medio, aplicando el saneamiento rural al manejar apropiadamente las excretas, aguas residuales y residuos sólidos.
4. Se requiere el desarrollo de trabajos de investigación tendientes a las estimaciones de carga de nutrientes insitu, que permitan contrastar los resultados con los expresados en el presente trabajo.
5. Establecer un plan de monitoreo de la calidad del agua del ecosistema, que de alguna manera permita la detección de cualquier problema y enfrentarlo de manera concreta.
6. Diseñar e implementar un plan de capacitación y asistencia técnica por parte de los gobiernos locales y las instituciones nacionales, dirigido a los productores asentados en la cuenca, con miras a mejorar las prácticas de cultivo y desarrollar los procesos limpios en las actividades industriales.
7. Establecer un plan de control y vigilancia de los incendios forestales en la cuenca de drenaje.
8. Que el gobierno central y locales inmersos en la cuenca de drenaje realice un proceso de intervención dirigido a frenar los aportes de nutrientes hacia el ecosistema del Río Tepenaguasapa.

X. BIBLIOGRAFÍA

Asociación de Municipios de Nicaragua (AMUNIC). Ficha Municipal de El Almendro. Managua, Nicaragua, (s.e.) 2000.

Asociación de Municipios de Nicaragua (AMUNIC). Ficha Municipal de San Miguelito. Managua, Nicaragua, (s.e.) 2000.

Asociación de Municipios de Nicaragua (AMUNIC). Ficha Municipal de Morrito. Managua, Nicaragua (s.e.), 2000.

Asociación de Municipios de Nicaragua (AMUNIC). Ficha Municipal de Nueva Guinea. Managua, Nicaragua. (s.e.), 2000.

Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA): Proyecto Twin Latin. Muestreos 2510. En formato electrónico de Microsoft Excel. Managua, Nicaragua. Disponible en el CIEMA - UNI.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Memoria del Cuarto Encuentro del Proyecto Regional Desarrollo de Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. San Juan de Puerto Rico (7 – 11 de Diciembre de 1987). Septiembre de 1988. 72 páginas (Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud: Programa de Salud Ambiental).

Cortés Ruiz, Flor Ivette. Estimación de la Carga de Nutrientes (Fosforo y Nitrógeno Total) Procedente de la Cuenca del Drenaje Superficial del “Lago de Apoyo”. Managua, Nicaragua. (s.e.). Octubre de 2005. 72 páginas.

Fundación Río. Diagnóstico Socioeconómico y Ambiental Micro cuenca del Río El Jícaro: Resumen Ejecutivo. (s.e.). San Miguelito, Río San Juan. Junio de 2003. 48 Páginas.

Google. Sistema de Obtención de Imágenes Satelitales. Obtenido el Jueves 2 de Octubre de 2008 en <http://www.googleearth.com>

Hernández González, Silvia Helena (2001). Diagnóstico de la Calidad de Agua de los Tributarios que Drenan al Lago Cocibolca. (s.e.). [Formato Microsoft Power Point]. Managua, Nicaragua: Disponible con el autor y el MSc. Mauricio Lacayo.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. VIII Censo de Población y IV de Vivienda: VIVIENDA Municipios Volumen II. Managua, Nicaragua. (s.e.). 2006. 335 páginas.

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). Anuario Estadístico 2005. Managua, Nicaragua. (s.e.). 400 páginas.

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). Estimaciones y Proyecciones de Población Nacional, Departamental y Municipal: Revisión 2007. Managua, Nicaragua. (s.e.). Noviembre de 2007. 136 páginas.

Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos. Cuadro 3: Población Urbana y Rural de la República, por Departamento y Municipio en los Censos de 1,971 y 1,995. Obtenido el Jueves 28 de Agosto de 2008 en <http://www.inec.gob.ni/censo95/censo95.htm>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Documento 4: Anexo Estadístico Departamento de Río San Juan. Managua, Nicaragua. (s.e.). Julio de 2008. 126 páginas.

Jørgensen, S.E. y Vollenweider, R.A. Guidelines of Lakes Management: Principles of Lake Management. International Environment Lake Committee. United Nations Environment Programme. Volume 1, 1988, Pages 91 – 98.

Lacayo Escobar, Mauricio. Curso de Limología General. Managua, Nicaragua. Centro de Investigaciones y Estudio en Medio Ambiente (CIEMA), 2007. 205 páginas.

Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales. Gobierno de la República de Nicaragua. Publicado en La Gaceta, Diario Oficial. Martes, 4 de Septiembre de 2007.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA). Humedales de Nicaragua: Sitios Ramsar de Importancia Internacional. Managua, Nicaragua (s.e.), Enero, 2005. 33 Páginas.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Estado del Ambiente en Nicaragua: III Informe Geo 3003 – 2006. Managua, Nicaragua. Impresión Comercial La Prensa. Año 2007. 272 Páginas.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Proyecto Demostrativo Rehabilitación de la Subcuenca del Río Tepenaguasapa. Managua, Nicaragua. (s.e.), Julio de 2001. 44 Páginas.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Resumen Ejecutivo de Documento Áreas Prioritarias del Sureste de Nicaragua. Managua, Nicaragua. (s.e.), 2004. 32 páginas.

Piura López, Julio. Metodología de la Investigación Científica: Un enfoque integrador. 4a Edición. Managua, Nicaragua. PAVSA, 2006. 254 páginas (Publicación Científica del Centro de Investigaciones y Estudios de la Salud).

Procuencia San Juan. Diagnostico Ambiental Transfronterizo Procuencia San Juan. Managua, Nicaragua, ARDISA, 2004. 269 Páginas (Publicación Conjunta del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua y el Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica).

Salas Estrada, Juan Bautista. Biogeografía de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Impresión Comercial La Prensa S.A., 2002. 548 páginas. (Publicación del Instituto Nacional Forestal – INAFOR)

Salas, Henry y Martino, Paloma. Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - División de Salud y Ambiente. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Versión Actualizada Enero de 2001.